كلية العلوم

القسم :الكيمياء

السنة : الثالثة

المادة : كيمياء حيوية

المحاضرة : السادسة /نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

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

التركيب الكيميائي للمادة الحية

مقدمة : يرتبط علم الكيمياء الحيوية بكثير من العلوم الكيميائية الأخرى مثل علم الكيمياء العضويه وعلم الكيمياء التحليليه وعلم الكيمياء الفيزيائية . يتضمن علم الكيمياء الحيوية دراسة تركيب المركبات الحيوية المختلفة مثل الكربوهيدرات - الليبدات -البروتينات -الفيتامينات -الأحماض النووية.....

1- المركبات الكيميائية الأساسية للكائنات الحية:

بمقارنة التركيب الكيميائي للكائنات الحيّة والبيئة غير الحيّة (المحيط الجوي والقشرة الأرضية)، يتبيّن أنّ الكائنات الحيّة كيّفت من أجل نشاطها ليس جميع العناصر ذاتها المنتشرة في القشرة الأرضية. فعلى سبيل المثال، يُعدُّ السيليسيوم Si أحد أكثر العناصر انتشاراً في القشرة الأرضية، لكنه يوجد بكميات غير كبيرة في بعض أنواع النباتات، أما في جسم الإنسان والحيوانات الراقية فتوجد آثار له فقط، يبين الجدول (1-1)

الجدول (1-1) المحتوى الوسطي لبعض العناصر الكيميائية في القشرة الأرضية والنباتات وجسم الإنسان

العنصر	المحتوى،%		
	جسم الإنسان	النباتات	القشرة الأرضية
H	60.3	10.0	0.0001 >
O	25.5	70.0	62.5
C	10.5	18.0	0.08
N	2.42	0.4	0.0001
Na	0.73	0.3	2.64
Ca	0.226	0.3	1.94
P	0.134	0.15	0.093
S	0.132	0.03	0.05
K	0.036	0.3	2.5
Cl	0.032	0.003	0.017
Si	0.0001 >	0.15	21.2
Al	0.0001 >	0.0001 >	6.47

تقريباً 99% من محتوى جسم الإنسان والنباتات تشكلها عناصر الأوكسجين والهيدروجين والكربون والآزوت، في حين أن محتوى الهيدروجين والكربون والآزوت في القشرة الأرضية ضئيل جداً. ومن حيث المحتوى الكمّي في الكائنات الحية يمكن تقسيم العناصر إلى أربع مجموعات.

ـ **المجموعة الأولى:** العناصر الكبرى (الرئيسة) ويشكل محتواها في الكائن الحي 1% وأكثر، وتضم الأوكسجين والكربون والهيدروجين والآزوت والكالسيوم والفوسفور.

ـ **المجموعة الثانية:** العناصر القليلة وتشكل نسبتها من 0.1% وحتى 1%، وتضم ستة عناصر هي البوتاسيوم والصوديوم والكلور والكبريت والمغنيزيوم والحديد (العناصر المعدنية ذات الأهمية الغذائية)

ـ **المجموعة الثالثة:** العناصر الصغرى Microelements وتُوجد بمحتوى لا يزيد عن 0.01%، وتضم سبعة عناصر هي التوتياء والمنغنيز والكوبالت والنحاس والفلور والبروم واليود، ومن المثبت أن لها دوراً كبيراً في عمليات النشاط الحيوي.

المجموعة الرابعة: العناصر شديدة الندرة Ultramicroelements، وتضم باقي جميع العناصر، وتركيزها ضئيل جداً في الكائن الحي ويتراوح ما بين 10^{-4} وحتى 10^{-5}%، حيث يعدّ اثنا عشر عنصراً منها ضرورية للنشاط الحيوي للنباتات والحيوانات وهي البور والليثيوم والألمينيوم والسيليسيوم والقصدير والكادميوم والزرنيخ والسيلينيوم والتيتانيوم والفاناديوم

والكروم والنيكل، ويُفترض أن ستة عناصر أيضاً هي البيريليوم والروبيديوم والباريوم والفضة والزنك والفولفرام ضرورية للكائنات الحية.

يوجد في الطبيعة الحيّة كميات قليلة بشكل استثنائي (من 10^{-4} وحتى 10^{-12}%) من السيزيوم والإنديوم والتاليوم والجرمانيوم والأنتيموان والبيزموت والتيلور والذهب والزئبق واللانتانيوم والسيريوم والزيركونيوم وغيرها، إضافة إلى العناصر الخاملة وحتى المشعة مثل الراديوم والأكتينيوم والبولونيوم والثوريوم والأورانيوم. وإن محتوى العناصر الأخيرة هو أقل من ذرة واحدة في الخلية، وعلى ما يبدو أن تلوث الوسط الخارجي بهذه العناصر يؤدي إلى تراكمها في الكائنات الحية وخاصة النباتات.

جميع العناصر تدخل في تركيب المركبات العضوية واللاعضوية للكائن الحي، وعلى الأرجح الاستثناء الوحيد يشكله الأوكسجين، حيث إن حصة قليلة منه منحلة في سوائل الكائنات الحية بحالة جزيئية حرّة (الآزوت والغازات الخاملة المنحلة في الأوساط السائلة للكائن الحي لاتدخل في العمليات البيوكيميائية للخلية)، في حين أن الجزء الأكبر من الأوكسجين الجزيئي والمستخدم في عمليات النشاط الحيوي لجسم الإنسان مرتبط مع الهيموغلوبين والميوغلوبين ونواقل أخرى.

التركيب الكيميائي للخلية يعكس الميّزة الهامة للمادة الحية كمستوى عالٍ من التنظيم البنيوي. فمثلاً في 30% من المادة الجافة لخلية كبد الإنسان، هناك ما يقارب 3% تُشكّلها الشوارد اللاعضوية والمركبات العضوية منخفضة الوزن الجزيئي، هذا يعني أن الخلية تحتوي احتياطاً قليلاً نسبياً من الكتل البنائية الحرّة (الغلوكوز، الأحماض الأمينية، مونونيوكليوتيدات، أحماض دسمة، غليسيرين)، والتي تستعمل في بناء الجزيئات الكبرى. والجزء الأكبر من المادة الجافة للخلية (ما يقارب 27%) تُشكّله الجزيئات الكبرى، حيث تشغل البروتينات 70% منها.

تحتوي الخلايا المختلفة على كميات غير متشابهة من البروتينات (مثلاً الخلايا النباتية أفقر من الخلايا الحيوانية بالبروتينات) والأحماض النووية (في الخلايا النباتية كميتها أكبر من الخلايا الحيوانية)، والليبيدات (النسيج الدهني بشكل خاص غني بالليبيدات) ومتعددات السكريات (خلايا النباتات والكبد والعضلات تخزنها خلال عملية النشاط الحيوي بكميات كبيرة مقارنة مع خلايا أخرى).

يُمكن أن يتراوح محتوى الماء في الخلايا المختلفة والكائنات الحية من 25% وحتى 98% ، وتُشكّل المركبات اللاعضوية سويةً مع الماء الوسط الذي تجري فيه جميع العمليات في الخلية. وإن تنوع الشوارد اللاعضوية في الخلية نسبياً غير كبير، لكنها تحدد وظائف حيوية كثيرة في الكائن الحي.

1-2- الماء، الخواص والوظائف الحيوية:

الماء – هو أحد أكثر المواد روعةً بخواصه الفيزيائية الفريدة وبأهميته للنشاط الحيوي للكائنات، وهو الشريك الإجباري للحياة، ولا يوجد كائن واحد معروف من قبلنا يستطيع الاستغناء عنه.

1-2-2 – دور الماء في حياة الخلية والكائن الحي:

الماء هو الوسط المُحلّ العام في الكائنات الحية، حتى بالنسبة للكائنات الحيّة البريّة، التي لا تستطيع الوجود والحياة إلا في الوسط الغازي، فإنها تعيش في وسط مائي وخاصة عندما ننظر إلى الحياة على المستوى الخلوي. وليس فقط الخلايا الفعالة تتألف من 60-95% من الماء ، والميّزات التي يتمتع بها الماء تجعله من المركبات المميزة والخاصة وتكسبه الخواص المثالية للدور الحيوي الهام الذي يقوم به، ويتمثل الدور والوظائف الذي يقوم به الماء .

- **مادة ناقلة للمواد الغذائية** : إلى جميع الخلايا من خلال تواجده بنسبة 83% في الدم .
- **يسهل عملية طرح الفضلات** : سواء عن طريق الكليتين (نسبة الماء في البول 94,4%) أو عن طريق جهاز الهضم (يفقد مع البراز حوالي 200 مل ماء / يومياً).
- **مادة منظمة لحرارة الجسم** : عبر آلية التعرق و التبخر عبر الجلد (يفقد عبر الجلد حوالي 500 مل / يومياً) أو عن طريق الرئتين مع هواء الزفير (يفقد عبر الرئتين حوالي 350 مل / يومياً) .
- **مادة مزلقة** : تخفف حوادث الاحتكاك بين السطوح الصلبة المتحركة (تذكر السائل الزلالي في المفاصل).
- **وسيط أساسي لبعض التفاعلات** : مثل تفاعلات الحلمهة والاماهة .
- **مادة حالة** : فالمواد الغذائية التي نتناولها هي مواد صلبة معقدة لا بد من تفكيكها و تحويلها إلى محاليل أو سوائل يسهل امتصاصها عبر الجدران المعوية ؛ لذلك الماء يساهم في عملية الهضم .
- **يشكل الماء المنتج النهائي لحوادث الأيض التأكسدي** (الاستقلاب) لكل المواد الغذائية.
- **تؤثر حركة الماء (دخوله و خروجه) على بعض الأنزيمات فتفعلها** بدخوله او خروجه إلى المركز الفعال في هذه الأنزيمات فيرتبط بذلك مع الركيزة .

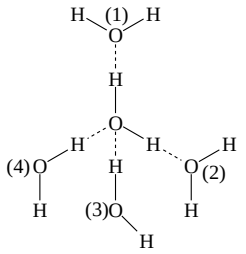
1-2-1 محتوى الماء وتوزعه في جسم الإنسان:

النسيج او العضو	نسبة الماء %
النسيج الشحمي	30-25
النسيج العظمي	20-15
النسيج الارتباطي	80 -60
الدم	83
البلازما	92
العظام	45 - 15
الدماغ والكبد	70
العضلات	76
القلب والرئتين	79
العصارة الصفراوية	86
الكليتين	82
البول	95
العرق	99
اللعاب	98

يتراوح محتوى الماء في جسم الإنسان وفقاً للعمر من 45 وحتى 75% من الكتلة العامة، وتتوزّع كامل كمية الماء في ثلاثة فراغات – داخل الخلايا وخارجها وفي التجاويف المغلقة. والكمية الكبرى توجد داخل الخلايا وتُشكّل من 30 وحتى 45%، أما المياه اللاخلوية فتتوزّع بين السائل الخلوي (من 12 وحتى 16%) وبلازما الدم (حوالي 5%) و(السائل اللّنفاوي) الليمف Lymph (2%). أما ماء التجاويف الداخلية فيُشكّل جزءاً صغيراً (ما يقارب 1-3%)، وتدخل في تركيب سوائل النخاع الشوكي، وداخل العين وتجاويف المفاصل وغيرها.

1-2-3- خواص الماء الفيزيوكيميائية:

جزيئة الماء H_2O قطبية، والزاوية التكافؤية H – O – H تساوي 105°، ولذلك فإن جزيئة الماء تعدّ ثنائية القطبية، وذرة الأوكسجين المحبة للشحنة تجتذب الزوج الإلكتروني من ذرات الهيدروجين وتكتسب شحنتين سالبتين جزئيتين، أما كل من ذرتي الهيدروجين فتمتلكان شحنات إيجابية جزئية. ومن المزايا الأكثر أهمية للماء مقدرة جزيئاته الاتحاد في تجمعات بنيوية بفضل الروابط بين الأقطاب مختلفة الشحنة لثنائي القطبية (Dipole)، بشكل أن كل جزيئة ماء تبدو إلى حد ما مرتبطة بقوة مع أربعة جزيئات ماء مجاورة، كما في الشكل (2).



الشكل (2): مخطط تمثيلي للتجمع من جزيئات الماء

تتشكل تجمعات مكونة من خمسة جزيئات ماء كحدٍ أدنى، ونظرياً فإن جميع جزيئات الماء تستطيع الاتحاد في شبكة فراغية واحدة وكأنها جزيئة كبرى هائلة، إلا أن الروابط الهيدروجينية خلال حركة جزيئات الماء تتقطع بسرعة، وكذلك تتشكل روابط جديدة بسرعة. ولذلك يتشكل توازن بين جزيئات الماء المنفردة والتجمعات.

المواد التي توجد في المحلول المائي تمتلك غلافاً مائياً أو هيدراتياً، والذي يتشكل نتيجةً لاتحاد الجزيئات ثنائية القطبية للماء مع المجموعات المشحونة للجزيئات الكبرى أو الشوارد، وكلما كان الغلاف الهيدراتي أكبر كانت المادة ذوابة بشكل أفضل.

جميع المركبات اللاعضوية والعضوية المتشردة، وجميع الجزيئات البيولوجية الأحادية (أحماض أمينية، نيوكليوتيدات، سكريات أحادية، غليسيرين)، والبنيات البيولوجية المتعددة (البروتينات، الأحماض النووية، متعددات السكر)، ذات المجموعات القطبية ذوابة وتنتشر في الوسط المائي. أما الجزيئات الحاوية على سلاسل غير قطبية أو مجموعات منفردة فهي ذوابة بشكل سيء أو تقريباً غير ذوابة في الماء.

وبالعلاقة بالنسبة للماء فإن الجزيئات أو بعض أجزاء من الجزيئات تُقسم إلى محبة للماء (هيدروفيلية) وكارهة للماء (هيدروفوبية).

جميع المركبات القطبية الواردة أعلاه تعدُّ هيدروفيلية، أما إلى مجموعات الجزيئات الهيدروفوبية فينتمي على سبيل المثال الجذور الهيدروكربونية للأحماض الدسمة والأحماض الأمينية الأليفاتية والجذور الحلقية للأحماض الأمينية، كما وتعدُّ الغليسيريدات الثلاثية والستيروئيدات من الجزيئات الهيدروفوبية.

تحتوي جزيئات بعض المركبات على مجموعات قطبية (هيدروفيلية) وغير قطبية (هيدروفوبية) في الوقت نفسه، ومثل هذه المركبات تسمى (مزدوجة الإلفة) Amphiphiles، وتنتمي إليها الأحماض الدسمة والليبيدات القطبية (الفوسفوليبيدات) والبروتينات والأحماض النووية. تؤدي مثل هذه الجزيئات دوراً هاماً في تنظيم البنيات فوق الجزيئية المعقدة وخاصة الأغشية البيولوجية.

لا تقتصر الخواص الرائعة للماء على كونه مُحلاً (مذيباً)، فتشكل التجمعات يُفسَّر بدرجات حرارة الغليان والانصهار الشاذة وبالسعة الحرارية المرتفعة له، فلو لم تتحد جزيئات الماء في تجمعات، لكانت درجة غليانه وفقاً لوضع هيدريد الأوكسجين (Hydride of oxygen) في الجدول الدوري يجب أن تكون 80°C-، ودرجة حرارة التجمد -100°C، أي أن الحالة العادية للماء في ظروف الأرض وَجَبَ أن تكون غازية، ولما كانت الحياة ممكنة تزيد السعة الحرارية للماء بأكثر من مرتين عن أية مادة بيولوجية، وبفضل هذه الخاصيّة يستطيع الماء الحفاظ على الحرارة لمدة طويلة عند تغيّر حرارة الوسط المحيط ونقلها إلى مسافة، وهذا مهم من أجل استقرار درجة حرارة الكائن الحي.

من الخواص الفيزيوكيميائية والهامة أيضاً للماء التوتر السطحي الكبير، والذي يسببه الاتحاد بين جزيئات الماء، وبالتحديد فإن التوتر السحطي يُفسِّر الظاهرة الشعرية، أي ارتفاع الماء إلى الأعلى ضمن أقنية ضيقة جداً، ففي النباتات وبفضل الظاهرة الشعرية ينتقل الماء مع المواد المذابة فيه ضمن الأوعية الشعرية من الشق إلى الأغصان وبالعكس من الأوراق إلى الأجزاء السفلية للنباتات.

1-2-4- الوظائف البيولوجية للماء:

من خلال تلخيص ما أوردناه آنفاً، يمكن تعداد الوظائف البيولوجية التي يؤديها الماء:

1- وظيفة مذيبٍ وموازن للجزيئات البيولوجية المنحلة والشوارد.

2- منظّم للموازنة الحرارية في الكائن الحي (حفاظ، توزيع ونشر حرارة).

3- وظيفة ميكانيكية، أي يساعد على الحفاظ على الضغط الخلوي الداخلي وعلى شكل الخلية.

4- وظيفة بنيوية (يدخل على شكل طبقة بنيوية بين النهايات القطبية للبروتينات والليبيدات في الأغشية البيولوجية).

5- وظيفة تصنيعية أو استقلابية (كركازة في اصطناع المواد البيولوجية).

7- وظيفة تحلمهية، أو وساطة بيولوجية (كركازة في تقطيع روابط المواد البيولوجية).

8- وظيفة مانحة للإلكترونات أو طاقيّة (مصدر للإلكترونات لدى نقل الطاقة في الصانعات الخضراء النباتية Chloroplasts).

وهكذا يحتاج الجسم من الماء

- **يحتاج البالغ الطبيعي حوالي (30-45) مل يومياً لكل 1 كغ من وزن الجسم وذلك من أجل التعويض عن الخسارة الإجبارية من السوائل .**
- **فلو كان إنسان وزنه 100 كغ فسوف يحتاج إلى (3000- 4500) مل /يوميا .**
- **يحتاج الأطفال الذين يتراوح وزنهم بين (10-40) كغ إلى (45-100) مل من الماء يومياً لكل 1 كغ من وزن الجسم .**
- **يحتاج الأطفال الذين يتراوح وزنهم من (2-10) كغ إلى (100-150) مل من الماء يومياً لكل 1 كغ من وزن الجسم .**
- **(حيث يمكن بسهولة حساب كمية الماء التي يحتاجها الجسم من خلال معرفة الوزن)**
- **ملاحظة :**
- **كلما كان الإنسان أصغر عمراً كلما كانت حاجته للماء أكبر .**
- ***عند فقدان الماء من الجسم (بحالات مرضية مثلاً) فيتم الفقدان على حساب الماء خارج الخلوي بينما يبقى الماء داخل الخلايا ثابتاً، أي: الذي تتغير نسبته هو الماء خارج الخلايا فقط.***

1-3- الشوارد اللاعضوية، خواصها ووظائفها البيولوجية:

توجد المواد اللاعضوية (المعدنية) في الخلايا على شكل شوارد.

1-3-1- توزّع الشوارد اللاعضوية بين الوسط داخل وخارج الخلية:

في الخلايا وفي سوائل جسم الإنسان اللا خلوية، تعدُّ الشوارد الإيجابية الأساسية Na^+، K^+، Ca^{2+}، Mg^{2+}، أما محتوى الشوارد الإيجابية الأخرى فليس كبيراً، وبين الشوارد السالبة فتوجد PO_3^{2-}، Cl^-، SO_4^{2-}، HCO_3^-.

يخضع الكائن الحي لقانون التعادل الكهربائي الفيزيوكيميائي، والذي يجب أن يكون فيه مجموع الشحنات الموجبة للكاتيونات مساوياً لمجموع الشحنات السالبة للأنيونات، وإن كان يُسمح ببعض التذبذب في محتوى الكاتيونات والأنيونات المنفردة.

لا يختلف تقريباً تركيز الكاتيونات والأنيونات اللاعضوية الرئيسة في السوائل بين الخلوية وفي بلازما الدم. ويعدُّ الكاتيون الأساسي في الوسط اللا خلوي شاردة (أيون) الصوديوم Na^+ (أكثر من 90% من التركيز العام لجميع الكاتيونات)، أما من بين الأنيونات فتعدُّ شوارد (أيونات) الكلورايد والبيكربونات Cl^- و HCO_3^- (70% و18% على التوالي)، في حين داخل الخلية يوجد كاتيون البوتاسيوم K^+ (75%) وأنيون الفوسفات PO_3^{2-} (50%).

من أجل الحفاظ على قاعدة الحياد الكهربائي ينقص بعض الكميات من الأنيونات اللاعضوية، وهذا يُعوَّض بأنيونات الأحماض العضوية (اللبن والليمون وغيرها)، والبروتينات الحامضية التي تحمل الشحنات السالبة، خارج الخلية، البروتينات والأحماض العضوية التي تحمل الشحنات السالبة. خارج الخلية، البروتينات والأحماض العضوية تُعوِّض النقص القليل في الشحنات السالبة عندها كما في داخل الخلية، أي يجب على البروتينات تعديل ما يقارب حوالي 25% من الشحنات الإيجابية المتشكلة من قبل الكاتيونات اللاعضوية.

تتميز جميع الكائنات الحية بفرق تراكيز الشوارد اللاعضوية الأساسية بين الفراغ الخلوي الداخلي والوسط اللا خلوي والمفصولين فيما بينهما بواسطة الغشاء الخلوي، ويوجد هذا الفرق فقط عند الكائنات الحية ويتلاشى عند موتها.

يتم التماس بين الأوساط داخل الخلية وخارجها عبر بنية منظمة مثل الغشاء الخلوي، حيث إن الغشاء يمتلك نفوذية انتقائية بالنسبة لشوارد مستقلة، وبشكل عام فهو غير نفوذ للجزيئات الكبرى الضخمة، مثل البروتينات والتي تحمل شحنة إجمالية سالبة كبيرة جداً. إن وجود الغشاء نصف النفوذ يُشكّل ظروفاً خاصة لتوازن الشوارد المستقلة على طرفي الغشاء.

هذا النموذج من التوازن يسمى توازن دونان Donnan، ويظهر بوجود الجزيئات الغروية الضخمة المشحونة من جهة واحدة للغشاء.

الحسابات تبين أن فرق تركيز الشوارد من كلا جهتي الغشاء يشكل في الخلايا المختلفة كموناً بقيمة 60-80 mV (ميلي فولت)، والجهة الداخلية للغشاء الخلوي بالنسبة للخارجية مشحونة سلبياً. ترتبط جميع الظواهر البيوكهربائية والكهروفيزيولوجية بالنفوذية المتنوعة للغشاء وذلك للشوارد اللاعضوية الأكثر أهمية – الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والكلور. وهذا يسمح باستخدام الخواص الفيزيوكيميائية للشوارد وسيلةً لتوجيه العمليات الكهروحيوية، فكلما ارتفع الكمون الكهروحيوي زاد محتوى البروتين وتأينه Ionization داخل الخلية وزاد أيضاً تركيز الكاتيونات خارج الخلية (الغشاء الخلوي يتميز بنفوذية منخفضة لكل من Na^+ وK^+). في جميع أوساط الكائن الحيّ والتي يوجد بينها تبادل حر للماء يتشكل ضغط تناضحي (أسموزي) متشابه، فإذا ازداد عدد الشوارد في وسط ما، على الأثر يحاول الماء الوصول إلى توازن جديد ومستوى جديد للضغط التناضحي.

إضافة إلى هذا وعلى نطاق واسع تُستخدم في الكائنات الحية مقدرة الكاتيونات اللاعضوية على تشكيل معقدات مع الجزيئات البيولوجية، وشوارد المعادن تتفاعل مع المجموعات الأنيونية للجزيئات الكبرى (البروتينات، الأحماض النووية). تؤثر الكاتيونات إما في هيكلية هذه الجزيئات أو في وظيفتها، وأحياناً تكون هذه الرابطة قوية لدرجة لا يمكن عزل شاردة المعدن بدون تحطيم جميع الجزيئات العضوية، ومثال ذلك رابطة شاردة الحديد في حلقة الهيم أو المعادن في البروتينات.

1-3-2 الوظائف البيولوجية للشوارد المعدنية:

تؤدي الشوارد اللاعضوية في الخلية الحية وظائف بيولوجية مختلفة:

1- وظيفة بيوكهربائية، مرتبطة مع نشوء فرق في الكمون على الأغشية الخلوية، وهذه الخاصية للشوارد تستخدم في تنظيم الخلايا القابلة للتأثر بشكل خاص (العصبية، العضلية) وبتنفيذ التنبيهات العصبية.

2- وظيفة تناضحية تستعمل في تنظيم الضغط التناضحي والهيدروتناضحي.

3- وظيفية بنيوية مسؤولة عن الخواص المشكلة للمعقدات من المعادن، وشوارد المعادن تدخل في تركيب الجزيئات الكبرى (البروتينات، الأحماض النووية، الهيم، الكلوروفيل وغيرها).

4- وظيفة تنظيمية وتظهر عندما تتحد شوارد المعادن مع الأنزيمات، حيث تبدي تأثيراً في نشاطها وتنظم سرعة التحولات الكيميائية في الخلية، وهذا هو التأثير التنظيمي المباشر للكاتيونات. أما الوظيفة التنظيمية غير المباشرة فتنطوي على أن شوارد المعادن ضرورية لإظهار تأثير منظم آخر ومثال ذلك الهرمون.

5- وظيفة ناقلة، تعتمد على اشتراك بعض المعادن (في تركيب البروتييدات المعدنية) في نقل الإلكترونات أو الجزيئات البسيطة، ومثال ذلك كاتيونات الحديد والنحاس تدخل في تركيب السيتوكرومات، تربط الأوكسجين وتشترك في نقله.

6- وظيفة طاقية متعلقة باستعمال الأنيونات الفوسفاتية اللاعضوية في تشكيل ATP من ADP (ATP – الحامل الأساسي للطاقة في المجموعات الحية).

7- وظيفة ميكانيكية أو دعامية، مثلاً كاتيون الكالسيوم وأنيون الفوسفور يدخلان في تركيب هيدروكسيل أباتيت (Hydroxyapatite or Hydroxylapatite) وفوسفات كالسيوم العظام ويحددان متانتها الميكانيكية.

8- وظيفة اصطناعية ترتبط باستعمال الأنيونات اللاعضوية في اصطناع الجزيئات المعقدة. مثال ذلك، الأنيون I^- يشترك في اصطناع اليود تيرونينات في خلية الغدة الدرقية، وأنيون SO_4^{2-} يشترك في اصطناع المركبات الإستركبريتية.

توجد في العمليات البيولوجية إمكانية الاستعاضة التبادلية لبعض الكاتيونات والأنيونات. فأحياناً شاردة معدن لا على التحديد (عادة عند عدم كفايته) يمكن أن يستعاض عنها بشاردة معدن آخر قريبة بالخواص الفيزيوكيميائية وبالمدى الشاردي. فمثلاً الصوديوم (Na) يستبدل بالليثيوم (Li) والكالسيوم (Ca) بالسترونتيوم (Sr) والموليبدينيوم (Mo) بالفاناديوم (V) والحديد (Fe) بالكوبالت (Co)، وأحياناً شوارد المغنيزيوم (Mg) بشوارد المنغنيز (Mn). بالطبع إمكانيات الاستبدال محدودة، لكن لا بد من التذكير بها.

العناصر المعدنية
Mineral Elements

- تشكل المعادن حوالي 3 كغ من الوزن الجاف لإنسان وزنه حوالي 70 كغ.
- هناك نمطان من التصنيف للمعادن :
- حسب حاجة الجسم إليها .
- حسب وظائفها الكيميائية و الفيزيولوجية

تُقسم المعادن حسب حاجة الجسم إليها إلى:

- **العناصر المعدنية الوفيرة Macro Mineral Elements**
وهي التي يحتاجها الجسم بكميات كبيرة.الحاجة اليومية 100 mg . وتشمل Cl, Mg, K, Na, P, Ca
- لتسهيل الحفظ نحاول حفظها كمجموعات مترابطة مع بعضها البعض :
- شاردة الصوديوم هي الشاردة الرئيسية الموجودة خارج الخلايا، ويقابلها شاردة البوتاسيوم وهي الشاردة الرئيسية داخل الخلايا.
- الفوسفور والكالسيوم موجودان في العظام.
- شاردة الكلور نربطها مع شاردة المغنزيوم

العنا صر المعدنية الزهيدة Trace Mineral Elements

- تبلغ الحاجة اليومية لها اقل من 100 مغ وهي ضرورية للحياة ولا يمكن استبدالها ببعضها وتتألف من:
- Fe, I, Cu, F, Se, Zn, Ni, Co, Mo, Mn,Cr
- **خواص المعادن الزهيدة:**

1- حاجة الجسم إليها قليلة جداً.

2- ضرورية لاستمرار الحياة، ولا يمكن الاستغناء عنها.

3- لا يمكن استبدالها بغيرها.

4- تغير رقم أكسدتها قد يفقدها دورها الفاعل في الجسم.

العناصر المعدنية الوفيرة

1- الصوديوم Sodium (Na):

- وهي الشاردة الموجبة الرئيسية في السائل خارج الخلوي (الدم) .
- يبلغ إجمالي الصوديوم في الجسم (لإنسان وزنه 70 كغ) حوالي 90 غ.
- **يوجد 50 % من إجمالي الصوديوم في السائل خارج الخلوي، وحوالي 40 % منه في العظام، وحوالي 10 % منه في السائل داخل الخلوي.**

أهمية الصوديوم ووظائفه الحيوية في الجسم:

- **ضروري للمحافظة على الضغط الحلولي في البلازما الدموية:** أي يساهم في عملية انتقال الماء من الدم إلى الخلايا وبالعكس حسب الخاصة التناضحية للماء وبالتالي فهو يساهم **في تنظيم حجم الدم وضغطه الشرياني.**

لذلك ينصح مرضى الضغط عدم الإكثار من تناول الملح الذي يعد المصدر الأساسي للصوديوم.

- **يؤثر على نفوذية الغشاء الخلوي:**
- **يؤثر على نقل السيالة العصبية وعمل العضلات.**
- المصدر الرئيسي : ملح الطعام NaCl الحاجة اليومية:1-3غ.

2- البوتاسيوم Potassium (K)

- هي الشاردة الموجبة الرئيسية في الوسط داخل الخلايا .
- إجمالي البوتاسيوم الموجود في جسم رجل يزن حوالي 70 كغ هو حوالي 151 غ
- الحاجة اليومية من البوتاسيوم حوالي : 2- 5 غ يومياً لشخص بالغ .
- تكون نسبة البوتاسيوم في السائل خارج خلوي هي : 2% .
- تبلغ نسبة البوتاسيوم داخل الخلايا 98% من إجمالي البوتاسيوم في الجسم و تتوزع كما يلي :
- 80% من البوتاسيوم داخل الخلوي : **في العضلات .**
- 20% من البوتاسيوم داخل الخلوي : في **الكريات الحمراء و الكبد والنسيج العصبي و العظام.**

أهمية البوتاسيوم ووظائفه الحيوية في الجسم:

1- هناك وظائف مشتركة بين الصوديوم و البوتاسيوم وهي :

- يساهم البوتاسيوم الموجود داخل الخلايا بالتعاون مع الصوديوم الموجود خارج الخلايا في تنظيم الضغط الحلولي و المائي في الخلية و خارجها (أي تنظيم دخول و خروج الماء من الخلية و إليها) .
- يساهم في الحفاظ على التوازن الحمضي – القاعدي و درجة الحموضة الـ PH .
- يؤثر على الوظيفة العصبية و العضلية فهو يساهم في انتقال السيالة العصبية .
- يسبب هبوطا بالضغط الدموي على عكس الصوديوم .
- يحافظ على كمون الراحة في الغشاء الخلوي .

2- إضافة لوظائف أخرى:

- يشارك في عملية نمو الخلية و بناء العضلات و نشاطها و نشاط القلب .
- يساهم في تصنيع الـ DNA و بعض البروتينات .
- له دور في عمل بعض الأنزيمات و استقلاب الطاقة .
- الحاجة اليومية: 2-5غ .

3- الكلوريد Chloride (Cl)

- نسبة **الكلور في السائل داخل الخلوي 2/3 من إجمالي الكلور في الجسم، أي نسبة الكلور خارج الخلوي هي 1/3 من إجمالي الكلور في الجسم.**
- **- الدور المهم للكلور يعود بشكل أساسي إلى الكلور الموجود في الوسط خارج خلوي.**
- **الدور الحيوي لكلور خارج الخلايا:**
- **1- يساهم في التوازن الحمضي_القاعدي.**
- **2- يساهم في الحفاظ على الضغط الحلولي لبلازما الدم والسائل الدماغي الشوكي.**
- **3- يحافظ الكلور على حموضة العصارة المعدية، فهو المسؤول عن الوسط الحمضي اللازم لهضم البروتينات في المعدة.**
- **4- يساهم في الحفاظ على pH الدم ,**
- **5-من خلال تبادل الكلور في بلازما الدم مع البيكربونات في الكريات الحمراء (الحفاظ على التوازن حمض –أساس).**
- **المصدر الرئيسي: ملح الطعام الحاجة اليومية 2-5 غ**

4- الفوسفور Phosphorus(P)

- إن الفوسفور يدخل مع الكالسيوم في بناء العظام عند الإنسان، وبالتالي: يكون معظم الفوسفور في الجسم (حوالي *80% من فوسفور الجسم*) مرتبطاً مع الكالسيوم في العظام على شكل هيدروكسي الأباتيت .
- ماتبقى من فوسفور في الجسم (حوالي 20% من إجمالي الفوسفور في الجسم) فيكون موجوداً في السائل خارج الخلوي.
- الفوسفور موجود في خلايا الجسم كافة، والسبب: أنه يدخل في تركيب الحموض النووية RNA, DNA.

اهمية الفوسفور ودوره الحيوي

- يدخل في بنية الدسم الفوسفورية التي تدخل في تركيب الأغشية الخلوية.
  - يدخل في بنية الحموض النووية.
  - يدخل في بنية البروتينات الفوسفورية.
  - يساهم في تفاعلات صنع وحفظ ونقل الطاقة (تذكر الـ A.T.P: الأدينوزين ثلاثي الفوسفات).
  - للفوسفور دور في التوازن الحمضي_القاعدي (تنظيم pH الدم) أي له دور دارئة (محلول موقي) فيمنع حصول التغيرات الكبيرة في قيمة pH الدم، ومن أمثلة مركبات الفوسفور الدارئة: فوسفات الصوديوم.
  - يدخل في تركيب العديد من التمائم الأنزيمية (مثل: NAD، FAD وغيرها).

5- الكالسيوم Calcium (Ca)

- يتواجد الكالسيوم في جسم الإنسان بنسبة عالية في العظام حيث يكون على شكل هيدروكسي الأباتيت .
- إجمالي الكالسيوم الموجود في جسم رجل يزن حوالي 70 كغ هو حوالي 1-1.4 كغ .
- توزع الكالسيوم في الجسم :
- 99% منه : يكون متواجداً على شكل هيدروكسي الأباتيت و ذلك في العظام و الأسنان .
- 1% منه : يوجد في الدم و السائل خارج خلوي .
- كميات زهيدة داخل الخلايا في الجسيمات الكوندرية والشبكة الهيولية الباطنة .
- تبلغ قيمة تركيز الكالسيوم الإجمالي في البلازما (8.5- 11)مغ/دل .

اهمية الكالسيوم ودوره الحيوي

- **ضروري لعملية بناء هيكل الجسم و المحافظة عليه وذلك بتشكيل العظام و الأسنان .**
- **يعمل كمنظم لنشاط العضلة القلبية و لآلية انقباض و انبساط العضلات.**
- **ضروري للنقل العصبي للسيالة العصبية .**
- **ضروري لبعض الأنزيمات ويلعب دور العامل الوسيط في عدد من التفاعلات .**
- **ضروري لتخثر الدم .**
- **يدخل في آلية التأثيرالهرموني .**
- **هناك علاقة بين تنظيم امتصاص الكالسيوم وتركيزه وكل من Vit D3 والهرمون الدرقي PTH والكالسيتونين الدرقي.**
- **الحاجة اليومية للكالسيوم :**
- **800-1000مغ وتزداد في حالة الإرضاع و الحمل ومراحل النمو في الطفولة و قبل البلوغ و في حالات مرضية أخرى : كاندمال الكسور والنساء بعد سن الضهي.**
- **يؤدي انخفاض تركيزه في المصل الى التكزز واضطرابات عصبية وعضلية، وحدوث الرخد عند الاطفال، وتلين العظام عند الكبار.**
- **يتم تأمين هذه الحاجة من الغذاء (الحليب و مشتقاته أغنى الأغذية به).**

6- المغنيزيوم Magnesium (Mg)

- شاردة موجبة تأتي بالمرتبة الثانية من حيث الأهمية الحيوية بعد البوتاسيوم. يوجد في جميع الخلايا الحية لضرورته في جميع التفاعلات التي تتطلب وجود الـ ATP، اضافة الى اهميته في التقلص العضلي.

توزع المغنزيوم في الجسم:

- يتواجد المغنزيوم في الخلايا جميعها، ويكون بالأشكال التالية:
- 50 % في العظام مع الكالسيوم والفوسفور.
- 25% في العضلات الهيكلية.
- 25% في الجملة العصبية.
- ويكون حوالي 20 -30% من إجمالي المغنزيوم في الجسم(على اختلاف مكانه) مرتبطاً مع البروتين.
- الحاجة اليومية : 350 مغ.

العناصر المعدنية الزهيدة

1- الحديد Ferrum (Fe) :

- **تبلغ كمية الحديد في جسم الإنسان البالغ حوالي 3-5 غ.**
- **يوجد حوالي 2/3 من إجمالي الحديد في الجسم في هيموغلوبين الدم (خضاب الدم)، وحوالي 3% من إجمالي الحديد في الجسم في ميوغلوبين العضلات، وقسم ضئيل في الأنزيمات والسيتوكرومات، والباقي يوجد في مخازن الحديد الاحتياطية في الكبد والطحال ونقي العظام والعضلات.**
- **إنّ نقص الحديد يسبب فقر الدم (لأنه يدخل في تركيب جزيئة خضاب الدم).**
- **إن زيادة الحديد تسبب تسمم الجسم، إذاً الحديد مفيد للجسم ضمن الحدود الطبيعية ويصبح سامّاً عند زيادته عن تلك الحدود.**
- **لأن القسم الفائض من الحديد لا تتم طرحها خارج الجسم عن طريق البول على عكس الصوديوم و البوتاسيوم .**
- **الحاجة اليومية للحديد : 10 مغ .**
- **وتزداد هذه الحاجة في الحمل والإرضاع والطمث والنمو وفاقات الدم (مثل حالة فقر الدم مثلاً).**

2- النحاس Copper (Cu)

- يوجد النحاس في الدماغ والقلب والكبد والكلية.
- الكمية الإجمالية :80 مغ.
- الأهمية الحيوية للنحاس:

1- يسهل عمليتي نقل وامتصاص.
2- يساهم في اصطناع الهرمونات الدرقية والكظرية.
3- مهم لتركيب الكريات الحمراء.
4- يعمل النحاس كمتمّم أنزيمي للأنزيمات الفلزّيّة مثل سيتوكروم أوكسيداز والبيروكسيداز والتيروزيناز...
5- يرتبط بقوة مع بروتين نوعي الفا-غلوبولين ليشكل السيرولوبلازمين.

الحاجة اليومية :1.5-3مغ/يوميا.

3- الزنك Zinc (Zn)

1- يدخل الزنك في تركيب أكثر من 200 أنزيم ،مع أن نسبة الزنك في الجسم قليلة، ومن هذه الأنزيمات ما هو محفز للتفاعلات ومنها بنائي ومنها منظم، ومن الأمثلة على مثل هذه الأنزيمات نذكر:

أنزيم 2-كربوكسي ببتيداز
RNA Polymerase
DNA Polymerase
نازعة الهيدروجين الكحولية
الفوسفاتاز القلوية ALP
نازع هيدروجين حمض اللبن LDH

2- يدخل الزنك في بنية ووظيفة الأغشية الخلوية.
3- يساهم في اصطناع البروتين الحيوي.
4- ضروري للأنسولين.
5-ضروري للكولاجين (الغراء) وبذلك يكون له دور في التئام الجروح.
6- تشير بعض الدراسات إلى أن للزنك دور في تشكيل النطاف.

الحاجة اليومية : 15 مغ

4- المنغنيز Manganese(Mn)

1- له دور في تفعيل أنزيم الغلوكوزيل ترانسفيراز المسؤول عن إنشاء قليلات السكاريد (السكاكر قليلة التعدد) والبروتينات السكرية.
2- ينشط أنزيمات الحلمهة.
3- يدخل في بنية العديد من الأنزيمات مثل الهيدرولاز - والكيناز - ونازعات الكربوكسيل.
4- يوجد بتراكيز عالية في متقدرات الخلية (الجسيمات الكوندرية).

الحاجة اليومية للمنغنيز: 5 مغ/يوم.

5- الكوبالت Cobalt (Co)

- الوظيفة الوحيدة المعروفة للكوبالت هي دخوله في تركيب الكوبالامين- الفيتامين B12.
- يدخل في تركيب فيتامين B12 (مهم للأعصاب)وبالتالي فإن وجود الفيتامين بالجسم بكمية كافية يعني أن الجسم سد حاجته من الكوبالت.

6- اليود Iodine (I)

- له أهمية في تشكيل هرمونات الدرقية (T3, T4) ونقصه يسبب تضخماً فيها ويختزن في الدرق بشكل غلوبولين درقي .
- نحصل على اليود من السمك و حاليا يضاف للملح لذلك يندر عوز اليود.
- الحاجة اليومية : اقل من 1 ميكروغرام.

7- الكروم Chromium (Cr)

يقوم الكروم ببعض الادوار الوظيفية الخاصة بتنظيم استقلاب الغلوكوز، حيث يعد عاملا مقويا لتأثير الانولسين. الحاجة اليومية: 2,. مغ.

8-المولبدين Molybdenium (Mo)

يدخل المولبدين في تركيب بعض انزيمات الاكسيداز: اكسيداز الكزانتين، الاكسيداز الالدهيدي، الاكسيداز الكبريتي.

9- السيلينيوم Selenium (Se)

- عنصر هام جداً له علاقة في عمل أنزيم الغلوتاتيون بيروكسيداز (الذي له علاقة باستقلاب السكاكر والتحلل السكري).
- الحاجة اليومية : 70 مغ.
- نقصانه: يؤثر على عملية النمو.
- زيادته: تؤدي إلى سقوط الشعر والأظافر وأحياناً الشلل في مراحل لاحقة لذلك يجب أن تكون كميته متوازنة.

10-الفلوريد Fluoride (F)

- مهم لحماية الأسنان من النخر لذلك يضاف إلى معجون الأسنان
- يساعد على زيادة قساوة الاسنان والعظام، يؤدي عوزه الى سوء تشكل الاسنان وتنخرها اضافة الى تخلخل العظام.
- كما أن الفلور يشجّع على توضع الكالسيوم في العظام.
- الحاجة اليومية: 4 مغ

11- الليتيوم Lethium (e)

- يوجد في كل أنسجة وسوائل الجسم وتستخدم كربونات الليتيوم في معالجة بعض الأمراض النفسية كما تفيد في الوقاية من أمراض القلب الناجمة عن التصلب العصيدي.

12- الكبريت Sulfur (S)

- له دور في إزالة الانسمام من العضوية بتشكيل معقدات غير سامة (أسترات الكبريت).

13- فاناديوم Vanadim (V)

- له دور في عمل مضخة الصوديوم والبوتاسيوم.