ملخص آليات تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كامنة في المادة العضوية

• مفهوم و معادلة التركيب الضوئي

- التركيب الضوئي ظاهرة تؤدي إلى تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كامنة تخزن في شكل جزيئات عضوية كالنشاء

$$6CO_2 + 12H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$$

• مقر عملية التركيب الضوئي

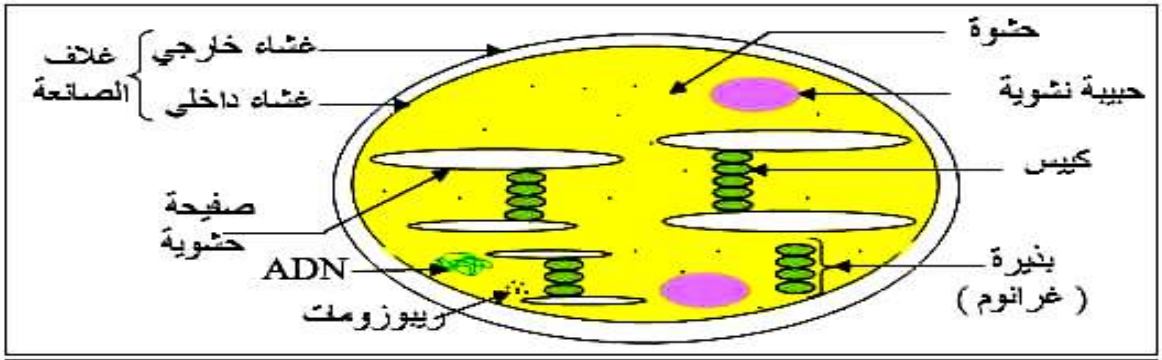
- تتم مجموع التفاعلات الكيميائية للتركيب الضوئي داخل الصانعة الخضراء .

- للصانعة الخضراء بنية حجيرية منظمة كالتالي :

° كييسات غشائية داخلية وصفائح حشوية : التيلاكوئيد.

° تجويف داخلي : تتمثل في حشوة ،محددة بغشاء بلاستيدي داخلي به ADN وريبوزمات و حبيبات نشوية .

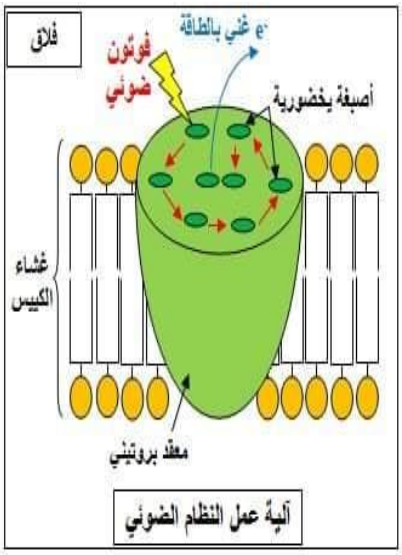
- يدعم الغشاء البلاستيدي الداخلي بغشاء خارجي .يفصل الغشاءين البلاستيديين فراغ بين غشاءين.

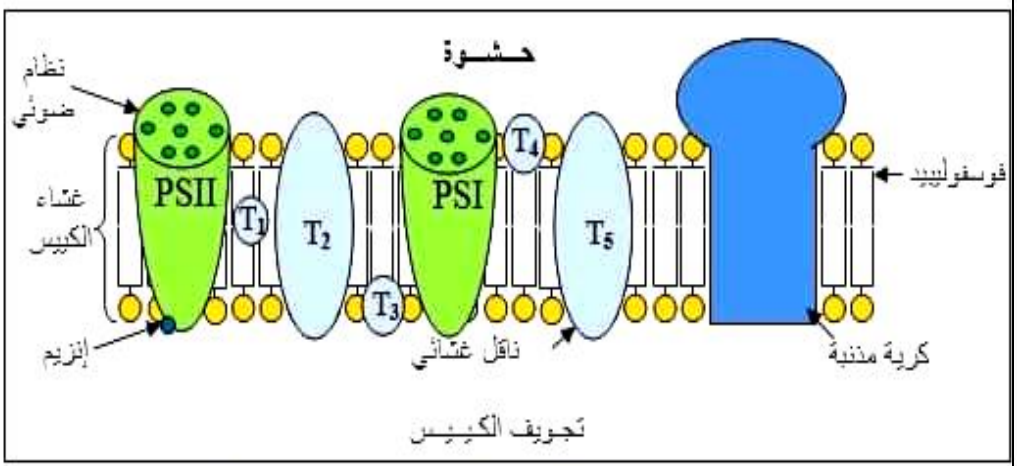


رسم تخطيطي لما فوق بنية الصانعة الخضراء

- تحوي الأغشية التيلاكويدية اصبغة التركيب الضوئي(اليخضور، أشباه الجزرين) وجهاز أنزيمي الـ ATP سينتاز.

- تحوي الحشوة مواد ايضية الوسيطة لتركيب المواد العضوية و مرافقات انزيمية (NADP+) ، الـ ADP+ والـ Pi وكذلك عدد من الأنزيمات كالريبولوز ثنائي الفوسفات كربوكسيلاز (rubisco).





رسم تخطيطي يوضح البنية الجزيئية للكييس (تيلاكويد الصانعة الخضراء)

• تفاعلات المرحلة الكميوضوئية

- تتأكسد جزيئة اليخضور لمركز التفاعل النظام الضوئي الثاني تحت تأثير الفوتونات المقتنصة ،متخلية عن الكترون غني بالطاقة وفق المعادلة التالية :

$$2\,P\,680 \longrightarrow 2P+680 + 2\grave{e}$$

- تسترجع جزيئة اليخضور المؤكسدة ضوئيا شكلها المرجع ،وبالتالي قابلية التنبه انطلاقا من الإلكترونات الناتجة عن التحلل الضوئي للماء وفق المعادلة التالية :

$2H_2O \longrightarrow O_2 + 2H^+ + 2e$

- تنتقل الإلكترونات الناتجة عن مركز التفاعل في سلسلة من النواقل t1,t2,t3 مما يؤدي إلى إرجاع النظام الضوئي الأول المؤكسد و يوافق انتقالها تحرير طاقة وفق المعادلة التالية :

$2P_{700} + 2e \longrightarrow 2P_{700}$

- تتأكسد جزيئة اليخضور لمركز التفاعل النظام الضوئى الاول تحت تأثير الفوتونات المقتنصة ،متخلية عن الكترون غني بالطاقة وفق المعادلة التالية :

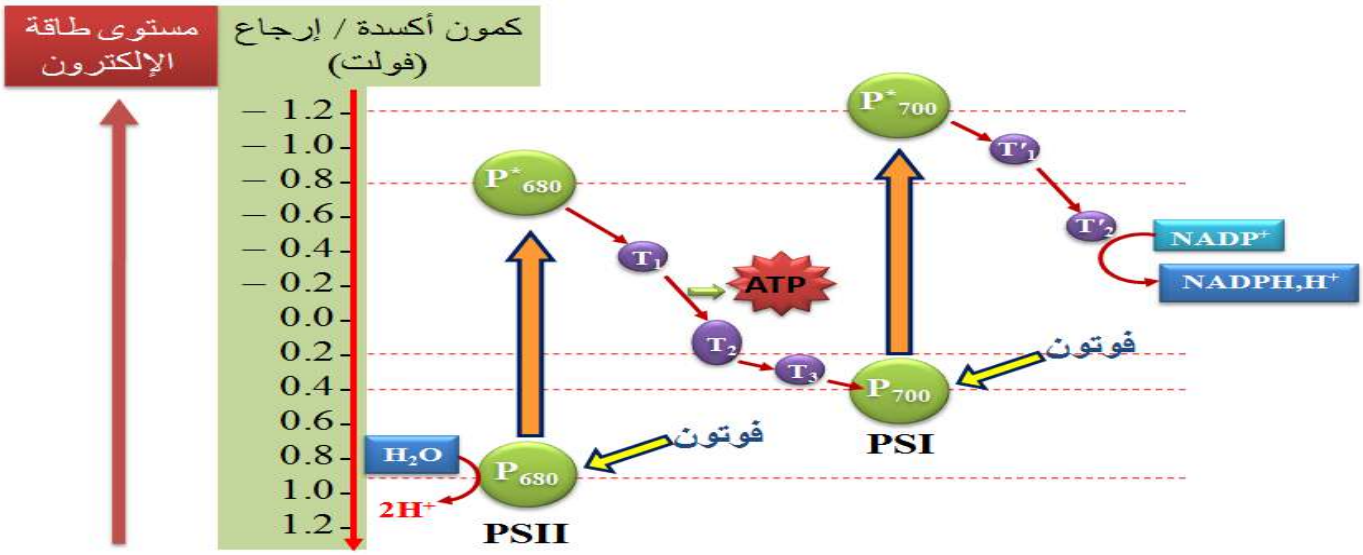
$2P_{700} \longrightarrow 2P_{700} + 2e$

-إن المستقبل الأخير للإلكترونات الناتجة عبارة عن ناقل للبروتونات والإلكترونات $NADP^+$ الذي يُرجع إلى $NADPH,H^+$ بواسطة أنزيم NADP ريدوكتاز حسب التفاعل:

$2(NADP^+) + H_2O \longrightarrow 2(NADPH,H^+) + O_2$

-تنتقل الإلكترونات الناتجة عن مركز التفاعل في سلسلة من النواقل متزايدة كمون الأكسدة والإرجاع - منخفض إلى مرتفع محررة طاقة.

- يتطلب انتقال الالكترونات من كمون أكسدة / ارجاع مرتفع إلى كمون أكسدة/ارجاع منخفض طاقة مصدرها الضوء (كانتقال الالكترونات من النظام الضوئي الأول و الثاني إلى سلسلة النواقل).

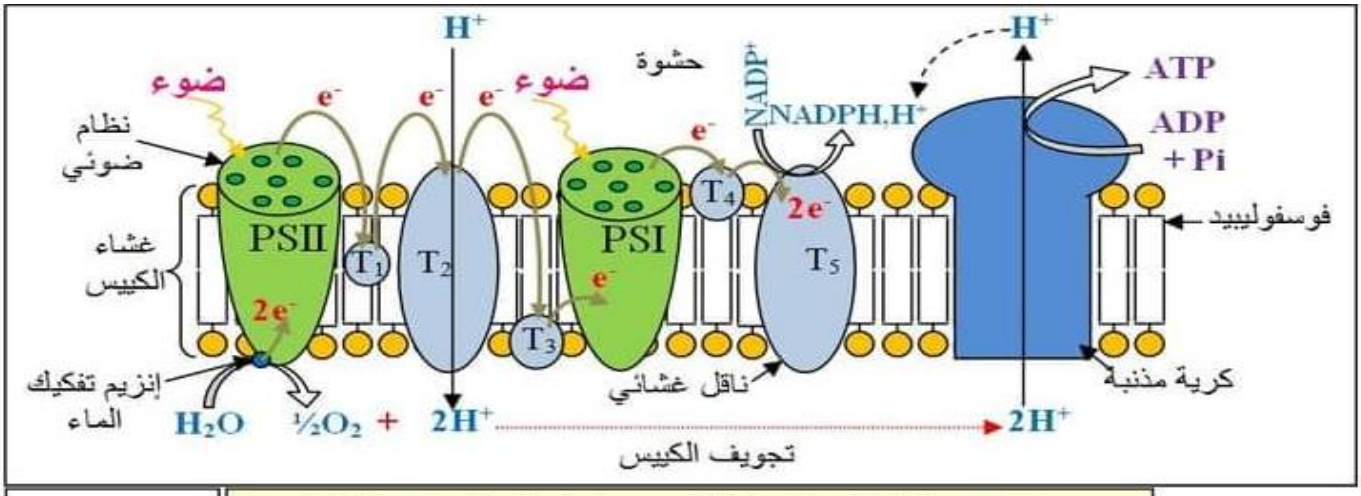


آلية انتقال الإلكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية

- يصاحب نقل الإلكترونات على طول سلسلة الأكسدة الإرجاعية ضخ البروتونات الناتجة عن التحلل الضوئي للماء وتلك المنقولة من الحشوة باتجاه تجويف التيلاكوئيد عبر T2.

- إن تدرج تركيز البروتونات المتولد بين تجويف التيلاكويد وحشوة الصانعة الخضراء ، ينتشر بظاهرة الميز على شكل سيل من البروتونات الخارجة عبر الكرية المذنبة.

- تسمح حركة البروتونات الخارجة بفسفرة الـADP إلىATP : إنها الفسفرة الضوئية.



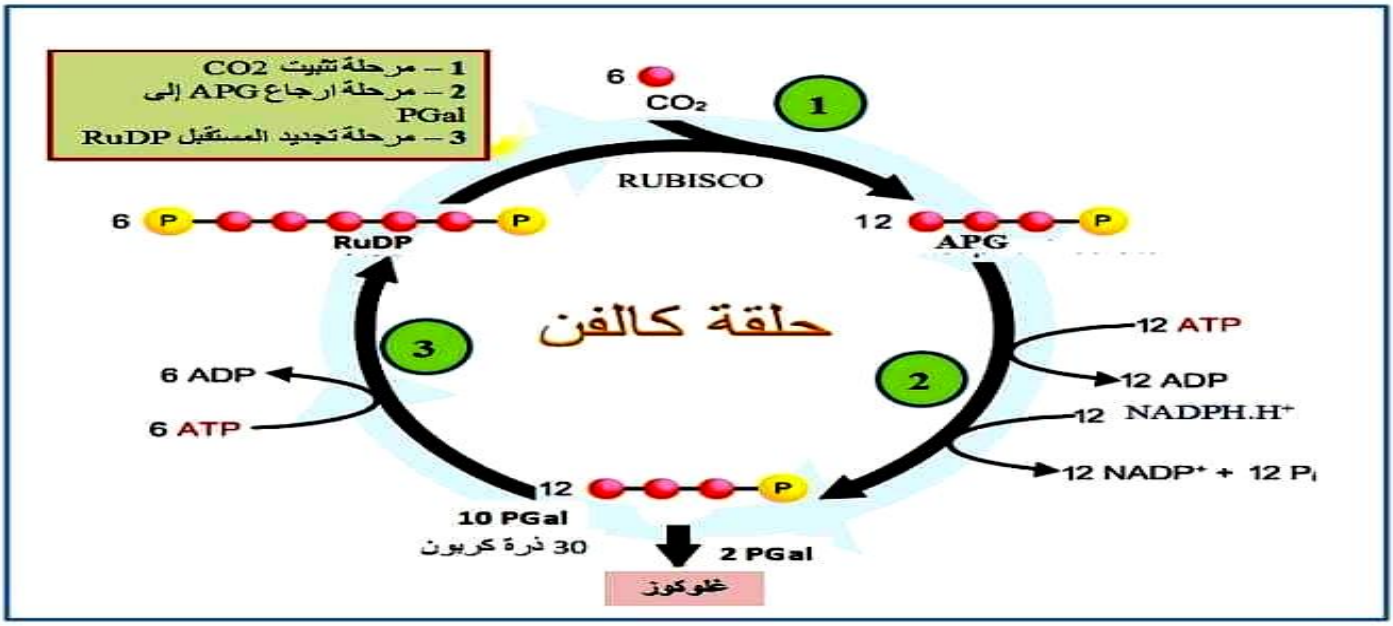
رسم تفسيري لتفاعلات المرحلة الكيموضوئية على المستوى الجزيئي

- **المعادلة الإجمالية للمرحلة الكيموضوئية (التيلاكويد)**

12H2O + 12NADP+ + 18(ADP + Pi) ---> 6O2 + 12NADPH,H+ + 18ATP

- **ملخص المرحلة الكميوحيوية**

- **يُثبت الـ CO_2 على جزيئة خماسي الكربون : ريبولوز ثنائي الفوسفات (Rudip) مشكلا مركب سداسي الكربون الذي ينشطر سريعا إلى جزيئتين بثلاث ذرات كربون هو حمض الفوسفو غليسريك (APG).**
- **يدمج الـ CO_2 بأنزيم ريبولوز ثنائي الفوسفات (rubisco).**
- **يرجع حمض الفوسفوغليسريك بواسطة الATP و $NADPH ,H^+$ الناتجين عن المرحلة الكيميوضوئية.**
- **يستخدم جزء من السكريات الثلاثية المرجعة في تجديد الـ Rudip أثناء خلال تفاعلات حلقة كالفن وبنسون.**
- **يستخدم الجزء الآخر من السكريات المرجعة في تركيب السكريات سداسية الكربون ، الأحماض الأمينية ، والاحماض الدسمة.**



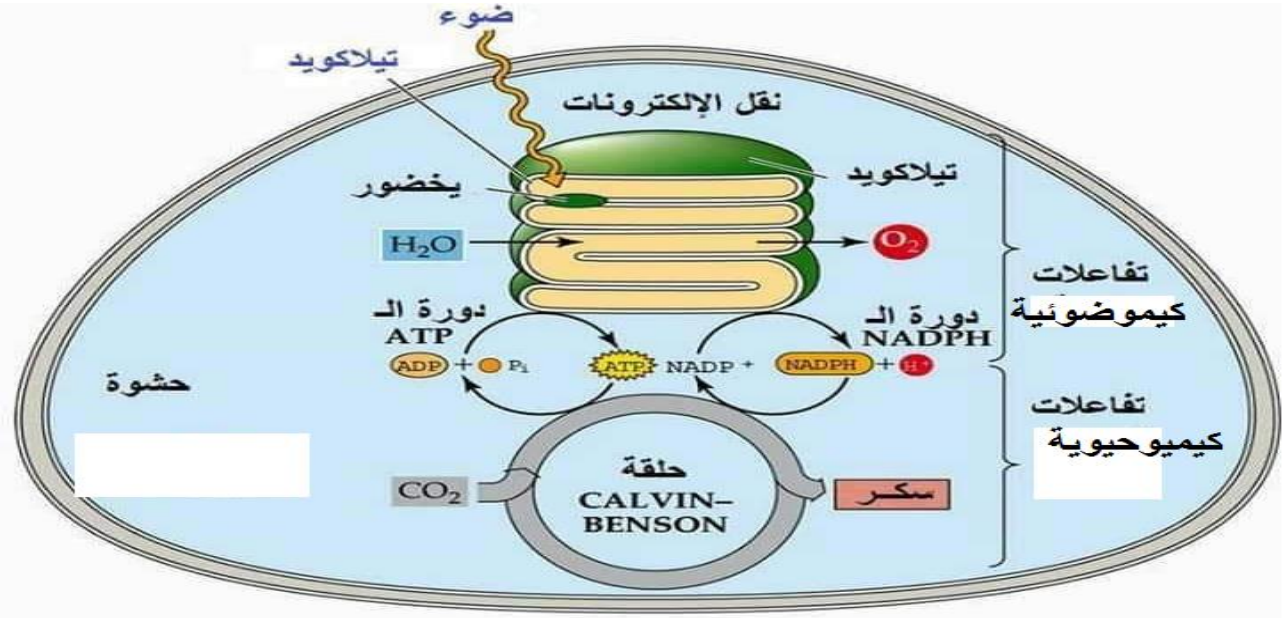
- **المعادلة الإجمالية للمرحلة الكميوحيوية (الحشوة)**

6CO2 + 12NADPH,H+ + 18ATP ---> C6H12O6 + 12NADP+ + 18(ADP + Pi)

• التكامل بين المرحلتين الكيميوضوئية و الكميوحيوية

أثناء التركيب الضوئي يتم على مستوى الصانعات الخضراء الجمع بين:

- **تفاعلات كيميوضوئية مقرها التيلاكويد يتم تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كامنة في ($NADPH, H^+$ / ATP).**
- **تفاعلات كيميوحيوية مقرها الحشوة يتم إرجاع الCO2 إلى مادة عضوية باستعمال ($NADPH, H^+$ / ATP) الناتجة من المرحلة الكيميوضوئية .**



• ملاحظات

	المرحلة الكيموضوئية	المرحلة الكيموحيوية (حلقة كالفن وبنسون)
تعليل تسمية المرحلة	**كيموضوئية:** سلسلة من التفاعلات الكيموحيوية يشترط حدوثها توفر الضوء	**كيموحيوية:** سلسلة من التفاعلات الكيموحيوية لا تتطلب الضوء بشكل مباشر
المقر	غشاء التيلاكويد (السلسلة التركيبية الضوئية)	الحشوة
الشروط	**خارجية:** الضوء **داخلية:** التيلاكويد، مستقبل الالكترونات، ADP وPi، بالإضافة للانزيمات	**خارجية:** CO_2 **داخلية:** نواتج المرحلة الكيموضوئية (ATP و $NADPH,H^+$)، بالإضافة للانزيمات
النتائج	انطلاق الـ O_2، إرجاع مستقبل الالكترونات $NADPH,H^+$، تركيب الـ ATP	تركيب سكريات، تجديد مرافق الإنزيم $NADP^+$ و ADP + Pi
البنيات والجزيئات المتدخلة ودورها	**أنظمة ضوئية:** تمتص الفوتونات الضوئية وتحرر الكترونات (تتأكسد) **نواقل الالكترونات:** تنقل الالكترونات المتحررة. **الكرية المذنبة:** تركب الـ ATP **مرافق الانزيم $NADPH,H^+$:** ينقل الالكترونات والبروتونات اللازمة لحدوث المرحلة الكيموحيوية (إرجاع الـ CO_2). **إنزيمات:** إنزيم أكسدة الماء، وإنزيم ريدوكتاز لإرجاع مرافق الانزيم $NADP^+$.	**المركب ريبيلوز ثنائي الفوسفات RuDP:** مادة أيضية وسيطة يدمج معها الـ CO_2 لبدأ سلسلة تفاعلات حلقة كالفن وبنسون. **إنزيم ريبيلوز ثنائي الفوسفات كربوكسيلاز Rubisco:** يدمج الـ CO_2 مع RuDP. **مرافق الانزيم $NADPH,H^+$:** نقل البروتونات والالكترونات اللازمة لتفاعلات الإرجاع . **ATP:** فسفرة المواد الأيضية الوسيطة.
المعادلة	$H_2O + NADP^+ + ADP + Pi \rightarrow 1/2O_2 + NADPH,H^+ + ATP$	$6CO_2 + 18ATP + 12NADPH,H^+ \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 18ADP + 6Pi + 12NADP^+$

-يوجد في النظام الضوئي 2 انزيم التحلل الضوئي للماء الذي ينشط بعد أكسدة هذا النظام و لا يوجد بالنظام الضوئي 1.

-تأخذ البروتونات من الحشوة بالناقل T1 و يعطيها ل T2 الذي يضخها للتجويف عكس تدرج التركيز باستخدام طاقة انتقال الالكترونات المتحررة.

تتكون الكرية المذنبة من تحت وحدتين F0 لنقل البروتونات خارج التجويف و F1 تحتوي على انزيم ATP سنتاز باتجاه الحشوة.

-تتحرر جزيئات الماء أثناء تفاعلات حلقة كالفن.

-ينطلق 02 بشكل مؤقت في حالة غياب C02 لعدم تجدد ADP+Pi و +NADP.