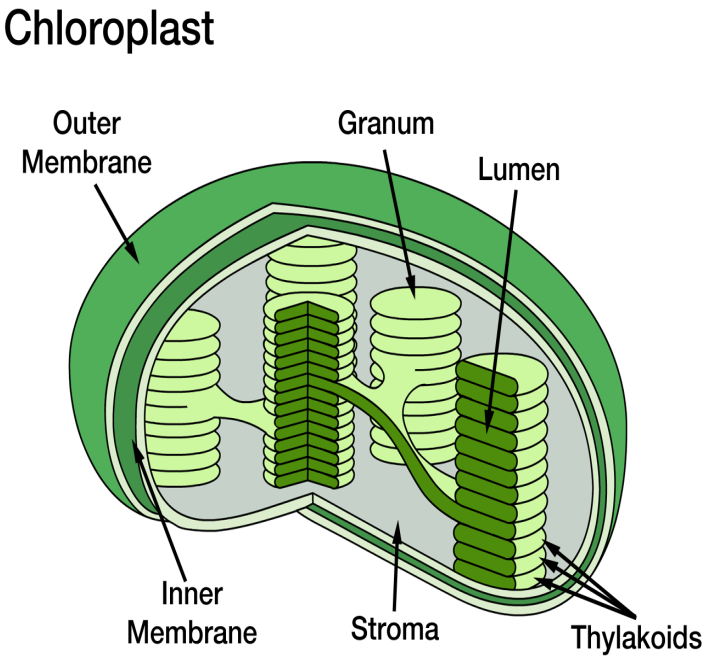
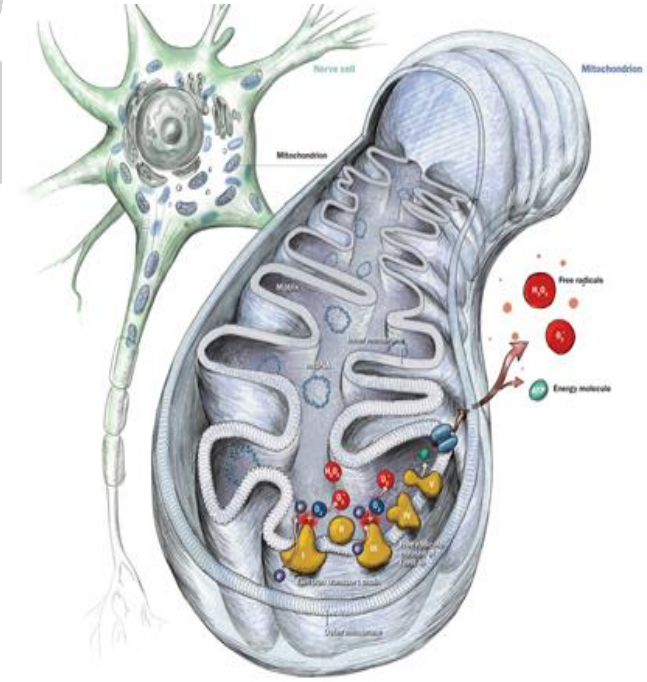
به نام خدا

جزوه کنکوری فصل 8 پیش

شارش انرژی در جانداران

کاری از استاد امیر مردانی





چند برگ درخت ممکن است به نظر شما چندان خوشمزه نباشند، اما غذای عمدهٔ این گوزن برگ است. همهٔ جانداران برای ادامهٔ زندگی به انرژی نیاز دارند.

فتوسنتز

فتوسنتزکنندگان از انرژی نور خورشید استفاده می‌کنند.

گیاهان، جلبک‌ها و بعضی باکتری‌ها (۴ گروه) حدود یک درصد از انرژی نور خورشید را که به زمین می‌رسد، به دام می‌اندازند و آن را در فرآیند فتوسنتز به انرژی شیمیایی تبدیل می‌کنند. در نگاهی کلی، فتوسنتز سه مرحلهٔ اصلی دارد:

مرحلهٔ ۱: انرژی نور خورشید (توسط رنگیزه به دام می‌افتد) به دام می‌افتد.

مرحلهٔ ۲: انرژی نوری به انرژی شیمیایی تبدیل می‌شود و به‌طور موقت در ATP (آدنوزین تری‌فسفات) و NADPH (نیکوتینامید آدنین دی‌نوکلئوتید فسفات) ذخیره می‌شود.

مرحلهٔ ۳: انرژی شیمیایی ذخیره شده در ATP و NADPH تشکیل ترکیب‌های آلی (در بستره کلروپلاست) را از CO_2 ممکن می‌سازد.

اتوتروف ها موجوداتی هستند که ترکیبات الی مورد نیاز خود را خودشان تولید می کنند

هتروتروف ها جاندارانی هستند مواد الی مورد نیاز خود را از موجودات اتوتروف کسب می کنند

اتوتروف	**فتوتروف** **با نور خورشید ATPتولید می کنند**	**جلبک های سبز** **(تک سلولی=کلامیدوموناس کلنی پرسلولی=ولوکس–اسپیروژیر پرسلولی=کاهوی دریایی)** **جلبک های قرمز** **جلبک های قهوه ای** **1/3اوگلناها–دیاتوم ها–تاژکداران چرخان** **گیاهان(خزه –سرخس–بازدانه –نهان دانه)** **باکتری(سیانوباکتری–گوگردی سبز–گوگردی ارغوانی–غیر گوگردی ارغوانی)**
	شیمیواتوتروف **با انرژی NH_3-H_2Sانرژِی تولید می کنند**	**نیتروزوموناس–نیتروباکتر**
هتروتروف	**همه جانوران** **همه قارچ ها** **بعضی باکتری ها** **بعضی اغازیان (مژکداران–2/3اوگلناها–امیب–کپک های مخاطی سلولی و پلاسمودیومی–روزن داران)**	

*نکته:باکتری های فتوسنتز کننده شامل باکتری های گوگردی سبز و ارغوانی و باکتری های غیر گوگردی ارغوانی و سیانو باکتری ها

نکته:NADPHدر اصل ماده ای است که از ترکیب باز ادنین و نیکوتین امید و فسفات و 2عدد نوکلئوتید به وجود امده است

نکته:سوال 12 عدد اب در قسمت واکنش دهنده فتوسنتز به چه دردی می خورد؟برای تولید یک گلوکز ما احتیاج به 12 NADPHاز زنجیره انتقال الکترون در غشای تیلاکوییید بگیریم در اصل به 24 الکترون یا 24+Hنیاز داریم در اصل تمام این 12 اب مصرف می شوند و 6اب تولید از جای دیگری که به ان می پردازیم امده اند

نکته:قندهایی که برای ساخت دیواره سلولی به کار می روند مثل سلولز که دیواره سلولی عمدتا سلولز می باشد

سوال –اکسیژن تولید شده در فرایند فتوسنتز از اب امده است یا از کربن دی اکسید؟

نکته:نشاسته تولید شده در گیاهان در ساقه و ریشه و برگ ذخیره می شود یعنی برگ و ساقه فتوسنتز می کنند و ذخیره هم می کنند ریشه فقط ذخیره می کند

نکته:گیاهان شامل 4گروه هستند خزه گیان –سرخس ها–بازدانگان و نهاندانگان که در خزه گیان قسمت گامتوفیتی فتوسنتز کننده است و در سرخس ها هم گامتوفیت هم اسپوروفیت و در بازدانگان و نهان دانگان اسپوروفیت فتوسنتز کننده است.

نکته: گوزن از فرمانرو جانوران و از شاخه طنابداران و رده‌ی پستانداران است. دیافراگم کامل و منتز سه لایه دارد. گیاه‌خوار بوده و آنزیم تجزیه کننده نشاسته را به‌صورت برون‌سلولی و آنزیم تولید و تجزیه کننده گلیکوژن را به‌صورت درون‌سلولی دارد. گوزن علف‌خوار نشخوارکننده است. باکتری‌ها و آغازیان تجزیه‌کننده سلولز در معده‌ی گوزن حضور دارند. به دلیل سرعت بالای تولید مثل میزان باکتری‌ها و آغازیان ثابت است. در گوزن غذا در هر دو باری که در دهان در حال جویدن است، آب دارد. بخشی از این آب در خود غذا و بخشی از بزاق است.

✓فتوسنتز در گیاهان، جلبک‌ها و برخی از باکتری‌ها (سیانوباکتری‌ها، باکتری‌های گوگردی سبز، باکتری‌های گوگردی ارغوانی و باکتری‌های غیر گوگردی ارغوانی) انجام می‌شود. به این ترتیب فتوسنتز در گونه‌ها سه فرمانرو از ۵ فرمانرو موجودات زنده انجام می‌شود.

✓در مرحله‌ی اول فتوسنتز در کنار جذب نور، شکافته شدن (تجزیه) آب انجام گرفته و الکترون، پروتون و اکسیژن تولید می‌گردد.

✓همه‌ی فتوسنتزکنندگاه نور را به دام می‌اندازند ولی در همه‌ی آن‌ها در حین فتوسنتزO_2 تولید نمی‌شود (فقط در گیاهان، جلبک‌ها و سیانوباکتری‌ها مولکول اکسیژن تولید می‌گردد).

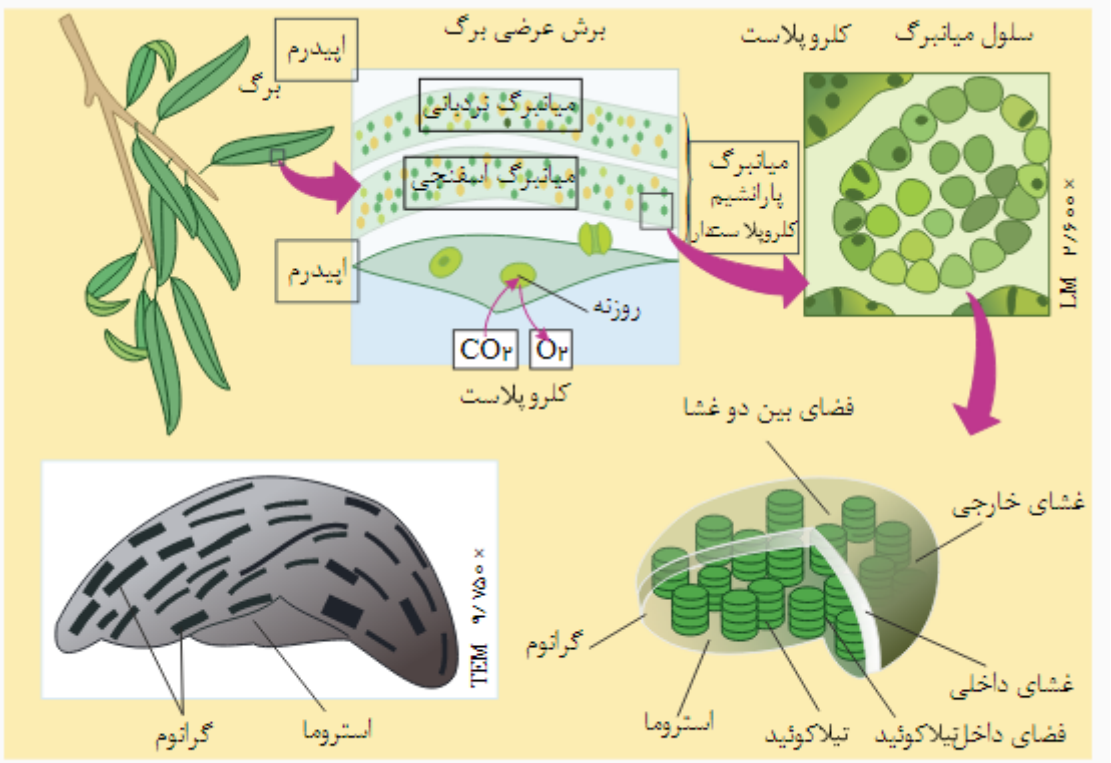
✓انرژی ذخیره شده در ATP و NADPH از نوع انرژی شیمیایی است.

✓مراحل ۱ و ۲ در در گیاهان و جلبک‌ها در غشاء تیلاکوئید و مرحله‌ی سوم) تشکیل مواد آلی ازCO_2 (در استروما (بستره) کلروپلاست انجام می‌گیرد.

✓مراحل ۱ و ۲، مراحل وابسته به نور یا واکنش‌های نوری بوده و مرحله‌ی ۳، مرحله‌ی مستقل از نور یا واکنش‌های تاریکی می‌باشد. واکنش‌های نوری بدون نور انجام نمی‌شوند ولی واکنش‌های تاریکی هم در نور و هم در تاریکی قابل انجام هستند.

✓در کلروپلاست یوکاریوت‌ها (گیاهان و جلبک) و همین‌طور در غشاء سلول سیانوباکتری‌ها (مثل آنابنا) منبع الکترون برای انجام واکنش‌های فتوسنتز H_2O است (و اکسیژن آزاد می‌کند). در حالی‌که در باکتری‌های گوگردی سبز و ارغوانی منبع الکترون H_2S (و گوگرد آزاد می‌کند) و در باکتری‌های غیر گوگردی، منبع الکترون ترکیبات آلی مثل اسیدها و کربوهیدارات‌هاست .

✓بیشتر فتوسنتز کنندگان هوازی هستند و با میتوکندری (یوکاریوت‌ها) یا غشاء خودشان (باکتری‌ها) واکنش‌های تنفسی را انجام می‌دهند، ولی برخی از آن‌ها (مثل باکتری‌های گوگردی) بی‌هوازی هستند و تنفس سلولی انجام نمی‌دهند.



شکل ۱-۸- الف - موقعیت و ساختار کلروپلاست‌ها

محل انجام فتوسنتز در سلول‌های گیاهی و جلبک‌ها در کلروپلاست و در باکتری‌های فتوسنتزکننده، غشای سلولی است.

✓سلول‌های روپوست به‌صورت فشرده و سلول‌های مسطح سطح خارجی همه‌ی بخش‌های جوان گیاه را می‌پوشانند و در بخش‌های بیرون از خاک به‌منظور جلوگیری از تعرق، حمله‌ی میکروب‌ها و اثر سرما روی آن‌ها را کوتین (پلی‌مری از اسیدهای چرب طویل) می‌پوشاند .

✓سلول‌های روپوست در گیاهان فاقد کلروپلاست بوده و فقط سلول‌های تمایزیافته نگهبان روزنه‌ی کلروپلاست دارند.

✓به‌منظور کاهش میزان تعرق، تعداد روزنه‌ها (محل ورود دی‌اکسیدکربن و خروج اکسیژن) در سلول‌های اپیدرمی تحتانی بیشتر از تعداد روزنه‌های سطح فوقانی هستند .

✓هر روزنه توسط دو سلول نگهبان روزنه کنترل می‌شود، که سلول‌های تمایزیافته از سلول‌های روپوست هستند. این سلول‌ها کلروپلاست دارند و عمل فتوسنتز را انجام می‌دهند .

✓سلول‌های نگهبان روزنه همانند سلول‌های کلانشیمی دارای دیواره‌ی غیر یکنواخت می‌باشند و به دلیل دیواره‌ی داخلی ضخیم‌تر و همین‌طور رشته‌های سلولزی عرضی با جذب آب روزنه را باز کرده و با از دست دادن آب، موجب بسته شدن روزنه می‌شوند.

✓در سمت فوقانی برگ، در زیر اپیدرم یک یا دو لایه سلول‌های پارانشیم استوانه‌ای (نرده‌ای) با فواصل کم و در سطح تحتانی برگ و در زیر اپیدرم تحتانی سلول‌های پارانشیم اسفنجی با فواصل زیاد قرار دارند. هر دو این سلول‌ها پارانشیم کلروپلاست‌دار (کلرانشیم) می‌باشند.

✓هر دو غشاء کلروپلاست، صاف هستند و عملکرد آن‌ها صرفا جداسازی داخل استروما از محیط سیتوپلاسم بیرون هستند.

✓درون کلروپلاست و در داخل استروما، بخش‌های غشایی دیگری وجود دارد که تیلاکوئیدها را ایجاد می‌کند و به این ترتیب ۳ غشاء و ۳ فضا در کلروپلاست به‌وجود می‌آید. این در حالی است که در میتوکندری ۲ غشاء و ۲ فضا وجود دارد.

✓از قرار گرفتن چندین تیلاکوئید بر روی هم گرانوم ایجاد می‌شود. فضای درون گرانوم‌ها با تیغه‌های بین گرانومی با هم ارتباط دارند.

✓با میکروسکوپ نوری یک سلول با کلروپلاست‌های درون آن قابل رویت است و با میکروسکوپ الکترونی گذاره‌ی خود یک کلروپلاست، با اجزاء درونی آن (مثل تیلاکوئید) قابل مشاهده است. بزرگ‌نمایی میکروسکوپ الکترونی گذاره در شکل کلروپلاست حدود ۴ برابر میکروسکوپ نوری است.

نکته:سلول های نگهبان روزنه سلول های تمایز یافته روپوستی هستند و سبز رنگ بوده و فتوسنتز می کنند

نکته:کلروپلاست ها در ابتدا باکتری های اتوتروف بی هوازی بوده اند که بر اثر خورده شدن انها توسط سلول های پیش یوکاریوت و هضم نشدن انها تبدیل به اندامک شده اند

نکته:میتوکندری و کلروپلاست DNAحلقوی باکتریایی و ریبوزوم های باکتریایی نیز دارند

نکته:کلروپلاست که دوغشایی می باشد غشایی بیرونی ان متعلق به وزیکولی بوده است که پیش سوکاریوت هنگام خورده شدن تشکیل شده است

نکته:کلروپلاست را می توان در جلبک ها گیاهان و بعضی اغازیان پیدا کرد

نکته:روزنه ها را می توان در همه بخش های هوایی گیاهان یافت یعنی برگ و ساقه اما تعداد انها در برگ بسیار بیشتر است

نکته:سلول های میان برگ دو دسته اند اسفنجی و نرده ای که هر دو پارانشیم فتوسنتز کننده یا همان کلرانشیم هستند

نکته:تعداد روزنه ها در سطح زیرین برگ بسیار بیشتر از سطح رویی ان می باشد برای جلوگیری از تعرق

نکته:همان طور که می بینید با بازشدن روزنه ها گیاه CO_2جذب می کن د و O_2را دفع می کند

خلاصهٔ فرآیند فتوسنتز (مجموع واکنش‌های نوری و تاریکی) به شکل موازنهٔ زیر است:

$6CO_2$دی اکسید کربن+$12H_2O$آب$\xrightarrow{\text{نور}}$$C_6H_{12}O_6$کربنی۶قند+$6O_2$گاز اکسیژن+$6H_2O$

این موازنه چیزی از چگونگی فرآیند و رخداد فتوسنتز نشان نمی‌دهد، بلکه صرفاً نشان می‌دهد که چه موادی مصرف و چه موادی تولید می‌شوند. گیاهان از ترکیب‌های حاصل از فتوسنتز برای انجام فرآیندهای حیاتی خود استفاده می‌کنند. مثلاً بعضی از این قندها برای ساخت ترکیب‌های دیوارهٔ سلولی (سلولز، پلی‌ساکارید ساختاری) و بعضی برای ساخت نشاسته (پلی‌ساکارید ذخیره‌ای) مصرف می‌شوند. گیاه در صورت نیاز، نشاستهٔ ذخیره شده در ساقه، یا ریشه را (طی واکنش‌های تنفس سلولی در سیتوپلاسم و میتوکندری‌ها) تجزیه و از آن برای ساخت ATPمورد نیاز متابولیسم سلولی، استفاده می‌کند. همهٔ پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و دیگر مولکول‌هایی که در سلول (گیاهی) هستند، حاصل تجمع و تغییر بخش‌هایی از قندهای ساخته شده در گیاه هستند.

✓در فتوسنتز آب هم تولید و هم مصرف می‌شود، ولی به‌طور خالص برای تهیه‌ی یک گلوگز ۶ مولکول آب باید مصرف گردد.

✓منشاء اکسیژن مولکولی تولیدی، ۱۲ مولکول آب مصرفی است و منشاء اکسیژن موجود در ترکیب گلوگز و آب تولید شده، اتم‌های اکسیژن موجود در دی‌اکسیدکربن است.

✓مولکول آب اکسایش یافته، هیدروژن‌های‌اش را از دست داده و به‌صورت گاز اکسیژن در می‌آیند. در حالی‌که مولکول دی‌اکسیدکربن به‌صورت مولکول گلوکز و آب احیاء می‌شود.

✓در گیاهان در ابتدا قند تولید شده و در صورت نیاز از تغییرات مولکول‌های قندی، انرژی یا مولکول‌های زیستی دیگر (نوکلئیک‌اسیدها، پروتئین‌ها و لیپیدها) تولید می‌شوند.

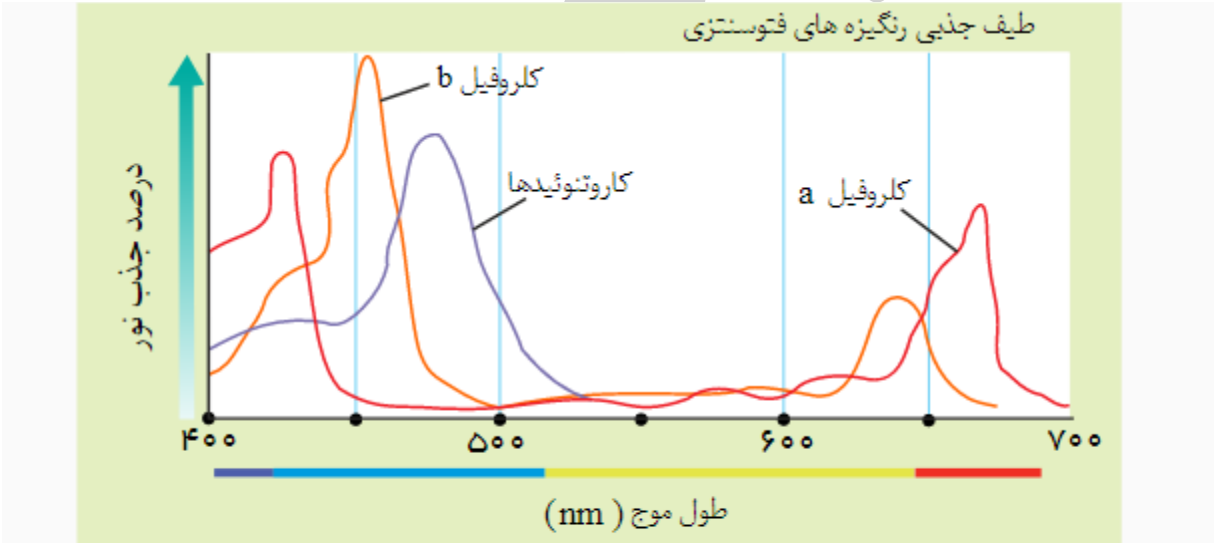
✓نشاسته هم در ریشه و هم در ساقه ذخیره می گردد.

انرژی نوری در مرحلهٔ ۱ جذب می‌شود.

واکنش‌هایی که در مراحل ۱ و ۲ رخ می‌دهند، واکنش‌های نوری یا واکنش‌های وابسته به نور نامیده می‌شوند. این واکنش‌ها بدون نور انجام نمی‌شوند. پرتوهای نور خورشید از طول موج‌های مختلفی تشکیل شده‌اند. ما فقط قادر به دیدن طول موج‌های مرئی (با طول موج ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر) نور خورشید هستیم.

رنگیزه‌ها طول موج‌های مختلف نور را جذب می‌کنند: چگونه چشم انسان و یا یک برگ، نور را جذب می‌کنند؟ این ساختارها موادی دارند که نور را جذب می‌کنند. به این مواد رنگیزه گفته می‌شود. رنگیزه‌ها بعضی از طول موج‌ها را جذب و بعضی دیگر را منعکس می‌کنند.

کلروفیل که اولین رنگیزهٔ مؤثر در فتوسنتز است، بخش اعظم نور آبی و قرمز را جذب و نور سبز و زرد را منعکس می‌کند. انعکاس نور سبز و زرد موجب می‌شود که گیاهان، به خصوص برگ‌های آن‌ها، سبز دیده شوند. گیاهان و جلبک‌های سبز دو نوع کلروفیل دارند: کلروفیل a و کلروفیل b. هر دو نوع کلروفیل در فتوسنتز گیاه نقش مهمی دارند. کاروتنوئیدها گروهی دیگر از رنگیزه‌ها هستند که موجب پیدایش رنگ‌های زرد و نارنجی در برگ‌های پاییزی، میوه‌ها و گل‌ها می‌شوند. طول موج‌هایی که کاروتنوئیدها جذب می‌کنند با طول موج‌هایی که کلروفیل‌ها جذب می‌کنند متفاوت است؛ به همین علت استفاده از این دو گروه رنگیزه موجب می‌شود تا میزان جذب انرژی نوری هنگام فتوسنتز، توسط گیاه بیشتر شود. در شکل زیر طیف جذبی کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها را در طول موج‌های مختلف نور مشاهده می‌کنید.



شکل ۳-۸-نور هنگام فتوسنتز جذب می‌شود. کلروفیل‌ها نور قرمز و آبی و بنفش را بیشترجذب می‌کنند. درحالی که کاروتنوئیدها نور آبی و سبزرا بیشتر جذب می‌کنند.

✓موادی که نور را جذب می‌کند، رنگیزه نامیده می‌شوند. همه رنگیزه‌ها در فتوسنتز کارایی ندارند، ولی همه فتوسنتزکننده‌ها از رنگیزه استفاه می‌کنند. مثلا رنگیزه‌های موجود در شبکیه جاذب نورند، ولی در فتوسنتز نقشی ندارند .

✓زیر ۴۰۰ nmنور ماوراء بنفش (UV) با انرژی بالا و بالای ۷۰۰ nmنور مادون قرمز یا فروسرخ با انرژی پائین قرار دارد.

✓از طول موج ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر، به‌ترتیب کلروفیلa ، کلروفیلb ، کارتنوئید، کلروفیل b و کلروفیل a نور جذب می‌کنند. بالاترین میزان جذب نور هم به‌ترتیب از بالا به پائین به کلروفیلb ، کارتنوئید، کلروفیلa ، کلروفیل a و کلروفیل b مربوط می‌باشد .

✓کلروفیلa ، بخش اعظم نور آبی، بنفش و قرمز را جذب و بخش اعظم نورهای سبز و زرد را منعکس می‌کند. بیشترین درصد جذب کلروفیل a در طیف بنفش (طول موج نزدیک ۴۲۵) می‌باشد. در حالی‌که کلروفیلb ، بخش اعظم نور آبی و بخش کمی نارنجی و قرمز را جذب و بخش اعظم نورهای سبز و زرد را منعکس می‌کند. بیشترین درصد جذبی کلروفیل b در طیف آبی (طول موج حدود ۴۶۰) است.

✓طیف جذبی کارتنوئید از طول موج‌های ۵۳۰–۴۰۰ nmاست و بیشترین جذب کارتنوئید در طول موج بنفش، آبی و سبز (در ۴۷۵) و بیشترین انعکاس آن در نارنجی و زرد است.

✓درصد جذب نور در طول موج‌های پائین طیف مرئی (۴۰۰ تا ۵۲۵) از درصد جذب در طول موج‌های بالاتر (۶۲۵ تا ۶۷۵) بیشتر است.

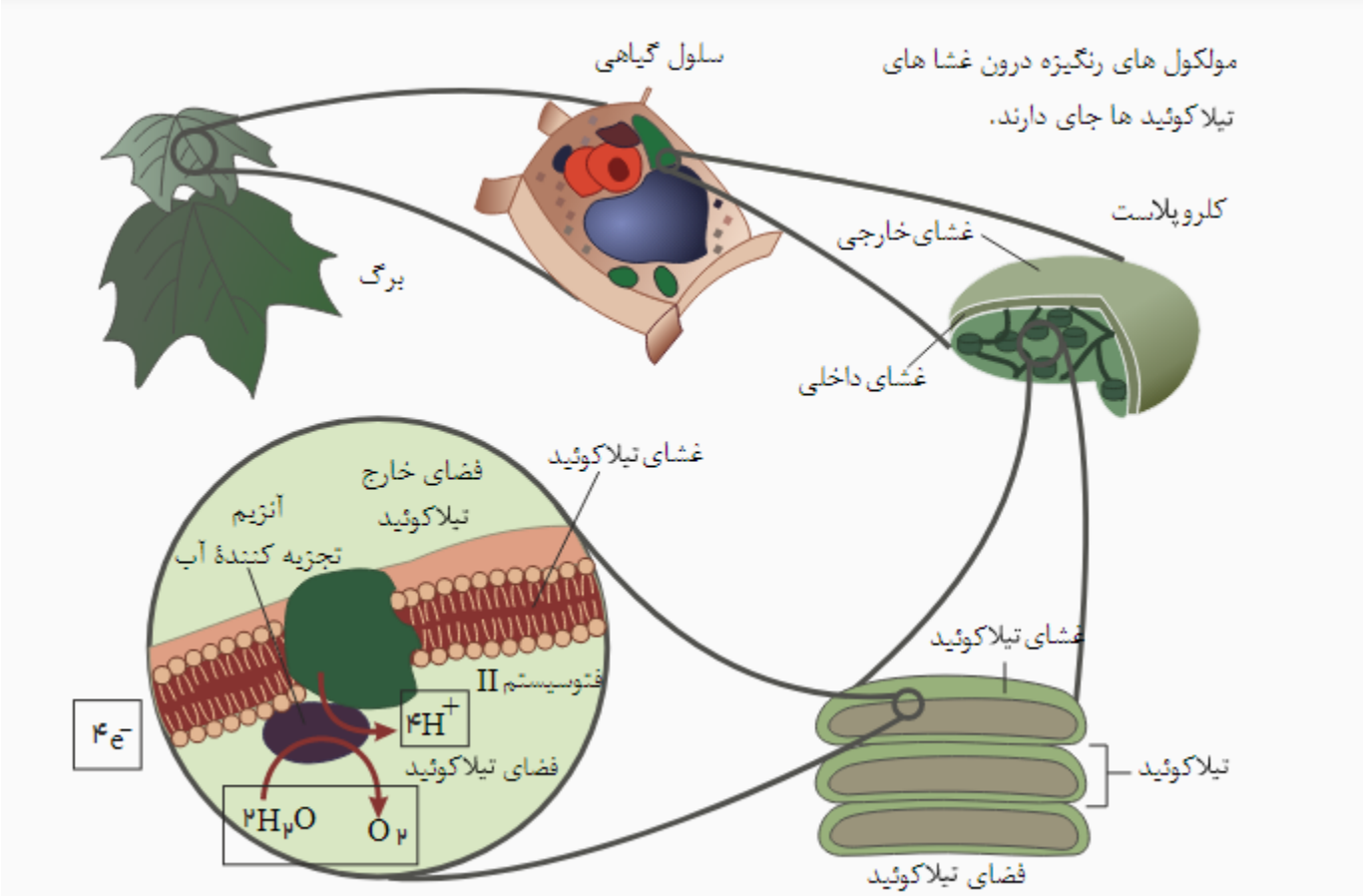
✓نور سبز در وسط طیف مرئی جذب نمی‌شود (به میزان حداقل جذب می‌شود) و بنابراین به طرف چشم منعکس می‌گردد و باعث سبز دیده شدن گیاهان می‌شود.

✓نور آبی هم توسط کلروفیل‌ها و هم توسط کارتنوئید جذب شده و نور زرد توسط هیچ‌یک جذب نمی گردد.

رنگیزه‌های فتوسنتزی درون کلروپلاست قرار دارند: درون کلروپلاست ساختارهای

کیسه‌ای شکل و پهنی به‌نام تیلاکوئید وجود دارند. تیلاکوئیدها در واقع ساختارهایی از جنس غشای سلولی‌اند. دسته‌های رنگیزه درون غشای تیلاکوئیدها جای گرفته‌اند. این رنگیزه‌ها به همراه تعدادی پروتئین، دو گروه ساختاری به نام فتوسیستم I و II را درون غشای تیلاکوئید سازمان می‌دهند. در هر فتوسیستم نوع خاصی از کلروفیل a وجود دارد. حداکثر جذب نوری کلروفیل a در فتوسیستم I، ۷۰۰ و در فتوسیستم II، ۶۸۰ نانومتر است؛ به همین دلیل به این کلروفیل‌ها P۷۰۰ و P۶۸۰گفته می‌شود. مولکول‌هایی به‌نام حامل الکترون دو فتوسیستم را

به هم وصل می کنند. انرژیِ نوری که به تیلاکوئیدها برخورد کرده است با فعالیت هم‌زمان کلروفیل ها و رنگیزه های دیگر، جذب، متمرکز و به کلروفیل های P700 و P680منتقل می شود. این انرژی، الکترون ها را به تراز بالاتر می برد. چنین الکترون هایی را که دارای انرژی اضافی شده اند، الکترون های برانگیخته می نامند. الکترون های برانگیختهٔ کلروفیل P700 و P680فتوسیستم ها را ترک می کنند. این فتوسیستم ها کمبود الکترونی خود را چگونه جبران می کنند؟ الکترون هایی که فتوسیستم I از دست می دهد با الکترون های خارج شده از فتوسیستم II و الکترون هایی که از فتوسیستم II خارج شده اند با الکترون های حاصل از تجزیهٔ آب، جانشین می شوند. در واقع اتم های هیدروژن حاصل از تجزیهٔ آب، الکترون های خود را به کلروفیل می دهند که نتیجهٔ آن تشکیل یون های مثبت هیدروژن است. اکسیژن های حاصل نیز با هم ترکیب می شوند و گاز اکسیژن (02) را تولید می کنند.



شکل ۴-۸- کلروپلاست درون سلول

ساختار تیلاکوئید از جنس غشاء سلولی با محتوای پروتئینی بالاست. رنگیزه‌های جذب کننده نور به همراه چندین پروتئین در ساختارهایی به‌نام فتوسیستم قرار گرفته‌اند. در بین فتوسیستم‌ها مولکول‌های پروتئینی حامل الکترون قرار دارند و ارتباط این دو را برقرار می‌کنند .

✓کلروفیل a موجود در فتوسیستم های I(PI) وII(PI) ، طیفی از طول موج‌ها را جذب می‌کنند، ولی بیشترین جذب نور در فتوسیستم I در طول موج ۷۰۰ و در فتوسیستم II در ۶۸۰ نانومتر (محدوده‌ی نور قرمز) است.

✓انرژی خورشید توسط رنگیزه‌های غشاء تیلاکوئید (کلروفیل‌ها و دیگر رنگیزه‌ها) جذب شده و در نهایت به کلروفیل P P700 و P680می‌رسدو منجر به برانگیخته شدن الکترون‌ها در این کلروفیل‌ها می گردد.

✓کلروفیلP700 کمبود الکترون‌های خود را از کلروفیلP680 می گیرد. این الکترون‌ها با استفاده از پروتئین‌های حامل الکترون زنجیره انتقال الکترون غشاء تیلاکوئید، از PII به PI می‌رسند. کلروفیل PII نیز کمبود الکترون خود را از آب می گیرد .

✓به این ترتیب دهنده‌ی نهایی الکترون در فتوسنتز سلول‌های کلروپلاست‌دار و باکتری‌های سبز، H2O است که در نهایت منجر به تولید O2 می‌شود.

✓دو مولکول آب درون تیلاکوئید توسط آنزیمی که به PII متصل است، تجزیه شده، ۴ الکترون، ۴ پروتون و یک اکسیژن مولکولی (O2) تولید می‌کند.

✓اکسیژن مولکولی (02 از غشاء تیلاکوئید و کلروپلاست (دو غشاء) عبور کرده و از سلول (مجموعاً ۴ غشاء هر یک با دو لایه‌ی فسفولیپیدی (۸ لایه)) خارج می‌شود.

نکته:نور مرئی از 7 رنگ تشکیل شده است که شامل رنگ های بنا سزنق می باشد ما در کتاب با 6 رنگ کار داریم.

بنفش –نیلی–ابی –سبز–زرد–نارنجی –قرمز

نکته :فرابنفش را بسیاری از حشرات می توانند ببینند مثلا زنبور عسل در هنگام گرد افشانی

نکته:فروسرخ را مار زنگی می تواند ببیند

محل های انجام هر مرحله را نام ببرید؟

مرحه یک :در تیلاکوییدها محصول اکسیژن

مرحه دو:تیلاکوییدها محصول NADPH-ATP

مرحله سوم:استروما محصول -ADP- +NADP+قند

نکته:انواع جلبک های سبز مثل:کلامیدومونا‌س و کاهوی دریایی و اسپیروژیر و بسیاری از پلانکتون های میکروسکوپی اب شور

نکته:جلبک های قرمز و قهوه ای نیز کلروفیل دارند اما رنگیزه های دیگری نیز دارند که با جلبک سبز متفاوت می باشد.

نکته:نور خورشید از طیف امواج بسیار زیادی تشکیل شده است که از این طیف محدوده 400تا 700نانومتر مرئی بوده و قابل رویت می باشد

نکته:همان طور که در فیزیک خوانده اید هر چقدر طول موج کمتر انرژی بیشتر

نام رنگیزه	حداکثر جذب	محدوده جذب	محدوه انعکاس
کلروفیل A	420–430 بنفش	بنفش تا قرمز	
کلروفیلB	460 ابی	بنفش تا وسط قرمز	
کاراتنویئد ها	470 ابی	بنفش تا سبز	زرد – نارنجی – قرمز

نکته:کدام رنگیزه بیشترین درصد جذب را دارد؟ کلروفیلB

نکته:محدوده جذبی کدام رنگیزه بیشتر است؟کلروفیلA

نکته: ما در کتاب های درسی با رنگیز های متفاوتی اشنا می شویم که هرکدام یه کار خاصی دارند

مثلا ملانین رنگیزه ای در بدن ما است که باعث مشکی شدن می شود

کلروفیل و کاروتنوئید ها در فتوسنتز و جذب نور نقش دارند

نکته:این سه دسته رنگیزه ها فقط طیف نور مرئی را جذب می کنند؟

خیر اگر به شکل نگاه کنید در طول موج های کمتر از 400نانومتر هم ما جذب نور داریم

ما در این شکل طیف جذبی چه تعداد رنگیزه را می بینیم ؟

معلوم نیست –چون نگفته کدام کاراتنوئید ها

در مرحلهٔ دوم، انرژی نوری به انرژی شیمیایی تبدیل می‌شود.

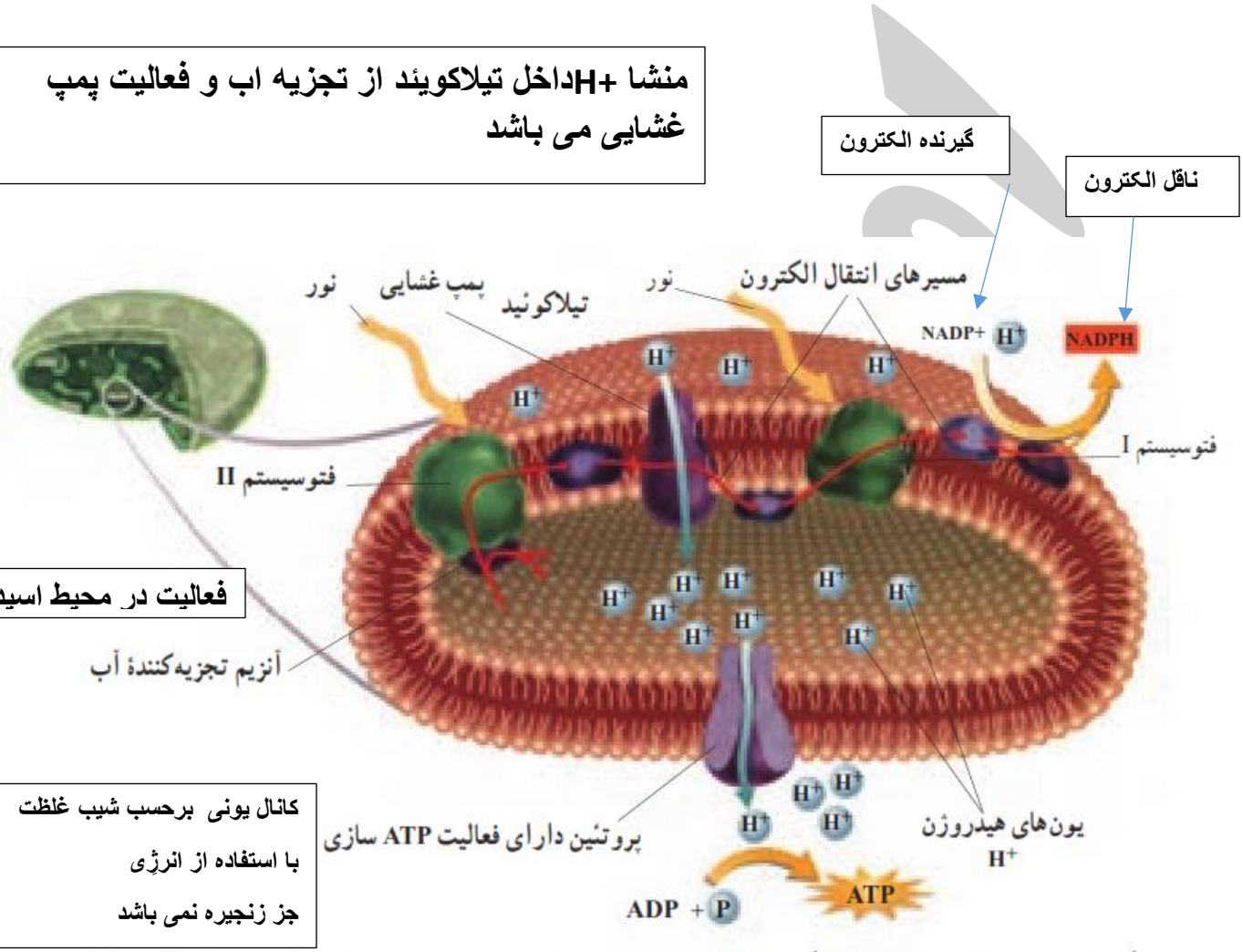
الکترون‌های برانگیخته (و پر انرژی) که مولکول‌های کلروفیل را ترک کرده‌اند، صرف تولید مولکول‌هایی می‌شوند که انرژی را به‌طور موقت ذخیره می‌کنند (ATP) و .(NADPH الکترون برانگیخته در غشای تیلاکوئید (در طول زنجیره‌ی انتقال الکترون) از یک مولکول به مولکول مجاور می‌رود. در واقع الکترون برانگیخته، گروه‌های مولکولی واقع در (زنجیره‌ی الکترونی) غشای تیلاکوئید را یکی پس از دیگری پشت سر می‌گذارد. برای درک این مطلب در نظر بگیرید به همراه چند نفر از دوستانتان در یک ردیف ایستاده‌اید و توپی را دست به دست رد می‌کنید. در این مثال توپ نقش الکترون برانگیخته و هر یک از شما نقش مولکول‌هایی را بازی می‌کند که در غشای تیلاکوئید قرار دارند و الکترون برانگیخته را دریافت می‌کنند. این مولکول‌ها در غشای تیلاکوئید، زنجیره‌های انتقال الکترون) یک زنجیره از PII به PI و زنجیره‌ی دیگر از PI به (+NADP را تشکیل می‌دهند .

عملکرد زنجیره‌های انتقال الکترون: چگونه از زنجیره‌های انتقال الکترون برای ایجاد مولکول‌های ذخیره کنندهٔ انرژی استفاده می‌شود؟ یکی از اجزای زنجیره‌های انتقال الکترون در غشای تیلاکوئیدی دارای پروتئینی است که همانند یک پمپ غشایی (یعنی با انتقال در خلاف جهت شیب غلظت) عمل می‌کند. الکترون‌های برانگیخته از فتوسیستم II هنگام عبور از این پمپ مقداری از انرژی خود را از دست می‌دهند. این پمپ از انرژی الکترون‌ها برای تلمبه کردن (یا انتقال فعال) یون‌های هیدروژن +H از استروما به درون تیلاکوئید (در خلاف جهت شیب غلظت‌شان) استفاده می‌کند. به یاد دارید که هنگام شکستن مولکول آب نیز مقداری +H درون تیلاکوئید تولید می‌شود. با ادامهٔ این روند تراکم یون‌های هیدروژن درون تیلاکوئید، نسبت به بیرون افزایش می‌یابد. در نتیجه یک شیب غلظت هیدروژن بین دو سوی غشای تیلاکوئید (از داخل تیلاکوئید به سمت استروما) به‌وجود می‌آید. بنابراین یون‌های هیدروژن، بر اساس شیب غلظت خود، تمایل دارند (با انتشار تسهیل شده و در جهت شیب غلظت خود) به بیرون از تیلاکوئید (و درون استروما) انتشار یابند. (یون‌های) هیدروژن از طریق پروتئین‌هایی که در غشای تیلاکوئید قرار دارند، از تیلاکوئید خارج می‌شوند. این پروتئین‌ها از این نظر که هم کانال یونی هستند و هم عمل آنزیمی) ساختن ATP از ADP و P را (دارند منحصر به‌فردند. یعنی در حال عبور دادن یون‌های هیدروژن از بخش کانال خود، (در استروما) به ADP گروه فسفات می‌افزایند و ATP تولید می‌کنند. به تولید ATP در فتوسنتز ساخته شدن نوری ATP می‌گویند، زیرا انرژی نور عامل اولیهٔ روند تولید (ATP) در کلروپلاست‌هاست .

در حالی که یک زنجیرهٔ انتقال الکترون) زنجیره‌ی انتقال الکترون از PII به (PI انرژی لازم برای ساخت ATP را فراهم می‌کند، زنجیرهٔ انتقال الکترون دیگری) زنجیره‌ی انتقال الکترون از PI به (+NADP انرژی (و الکترون) مورد نیاز برای ساخت NADPH را تأمین می‌کند NADPH .یک مولکول ناقل الکترون است که الکترون‌های پر انرژی را برای ساخت پیوندهای کربن– هیدروژن در مرحلهٔ سوم فتوسنتز (واکنش‌های تاریکی)، فراهم می‌کند. برای ساخت NADPH الکترون‌های برانگیخته در این زنجیرهٔ انتقال

الکترون، به یون‌های هیدروژن (+H) می‌پیوندند و موجب تبدیل یک گیرندهٔ الکترونی به‌نام +NADP به مولکول NADPH می‌شوند.

منشا +Hداخل تیلاکوئید از تجزیه اب و فعالیت پمپ غشایی می باشد



شکل ۵ ــ ۸ ــ زنجیره‌های انتقال الکترون در فتوسنتز. زنجیره‌های انتقال الکترون انرژی نوری را به انرژی شیمیایی تبدیل می‌کنند.

تبدیل انرژی نوری به انرژی شیمیایی توسط پروتئین های زنجیره انتقال الکترونی موجود در غشاء تیلاکوئید انجام می گیرد و انرژی به طور موقت در مولکول های ATP و NADPH ذخیره می شود .

✓تولید مولکول های ATP و NADPH در سمت استرومای غشاء تیلاکوئید انجام می گیرد .

✓آنزیم تجزیه کننده آب در سمت فضای داخل تیلاکوئید قرار داشته و به PII چسبیده است.

✓الکترون ها از آب به PII می رسند. پس آب اکسید شده و کلروفیل a موجود در PII ابتدا احیاء شده و با انتقال الکترون—هایش به PI ، آن را احیاء می کند و خودش اکسید می گردد .

✓گیرنده‌ی نهایی الکترون در زنجیره انتقال الکترون در غشاء تیلاکوئید NADP+ است که با گرفتن دو الکترون و دو پروتون، احیا شده و به یک NADPH تبدیل می‌شود .

✓NADP+ یک پذیرنده الکترون است. با پذیرش الکترون منجر به اکسایش ماده دهنده الکترون می‌شود. در مقابل NADPH یک دهنده الکترون است. به این ترتیب که با دادن الکترون به مولکول دیگر آن را احیاء می کند.

✓زنجیره‌های انتقال الکترون، به‌طور غیر مستقیم و با انتقال فعال پروتون‌ها به داخل تیلاکوئید و ایجاد شیب غلظت پروتون در تولید ATP نقش دارند.

✓دو عاملی که منجر به افزایش پروتون درون تیلاکوئید و متعاقب آن تولید ATP می‌شوند عبارتند از ۱. انتقال فعال H+ از استروما به درون تیلاکوئید و ۲. پروتون‌های تولید شده در اثر تجزیه آب درون فضای تیلاکوئیدی.

✓انتقال پروتون‌ها به فضای داخل تیلاکوئید توسط یک پروتئین کانالی سراسری در بین دو فتوسیستم و به‌صورت انتقال فعال (بر خلاف شیب غلظتی پروتون) انجام می گیرد. این پمپ انرژی انتقال پروتون‌ها را از ..... به دست می‌آورد. به این ترتیب داخل تیلاکوئید اسیدی‌تر می‌شود.

✓زنجیره‌های انتقال الکترون در غشاء تیلاکوئید از ۴ پروتئین سطحی (۲ تا در سمت فضای داخل تیلاکوئید (متصل به ..... و .....) و ۲ تا در سمت استروما (تا حدودی فرو رفته در غشا)، ۳ پروتئین سراسری(PI) ، PIIو پروتئین انتقال دهنده‌ی پروتون) و یک پروتئین قرار گرفته در داخل غشاء (اکسیدکننده (PII ساخته شده است.

✓کانال غشایی پروتون که به‌صورت ATP ساز عمل می‌کند، یک پروتئین سراسری غشایی است که هم باعث انتقال پروتون‌ها از ..... به ..... می‌شود و هم با عمل آنزیمی خود موجب اضافه شدن یک فسفات به ADPگردیده و ATP تولید می‌کند. این عمل را ساخته شدن فوری ATP یا ATP سازی فوری می‌نامند.

✓در انجام واکنش‌های مرحله دوم، یک پمپ غشایی (در زنجیره‌ی اول انتقال الکترون) و یک کانال یونی با خاصیت آنزیمی) در ATPسازی (کار می‌کنند. کار این دو در جهت عکس هم دیگر است.

✓ورود و خروج پروتون به درون تیلاکوئید بدون مصرف ATP است ولی خروج آن با تولید ATP همراه است.

✓در واکنش‌های فوری آب، +NADP، ADP(به همراه نور جذب شده) مصرف می‌شوند و اکسیژن مولکولی، NADPHو ATP تولید می‌شوند.

در مرحلهٔ سوم انرژی در ترکیب‌های آلی ذخیره می‌شود.

حاصل مرحلهٔ اول و دوم فتوسنتز تولید مولکول‌های ATP و NADPH است. این مولکول‌ها به‌طور موقت انرژی ذخیره می‌کنند. در مرحلهٔ سوم یا مرحلهٔ پایانی فتوسنتز از اتم‌های کربنِ گاز دی‌اکسیدکربن جوّ برای ساخت ترکیب‌های آلی استفاده می‌شود. این ترکیب‌ها انرژی شیمیایی در خود ذخیره دارند. استفاده از دی‌اکسیدکربن (معدنی) برای ساخت ترکیب‌های آلی، تثبیت دی‌اکسیدکربن نامیده می‌شود. واکنش‌هایی را که منجر به تثبیت دی‌اکسیدکربن می‌شوند، واکنش‌های تاریکی یا واکنش‌های مستقل از نور می‌نامند.

موجودات فتوسنتزکننده به چند روش دی‌اکسیدکربن را تثبیت می‌کنند:

چرخهٔ کالوین: چرخهٔ کالوین رایج‌ترین روش تثبیت CO_2در جانداران کلروفیل‌دار (گیاهان، جلبک‌ها و باکتری‌های فتوسنتزی) است. طی این چرخه مجموعه‌ای از واکنش‌های آنزیمی در نهایت منجر به تولید قند سه کربنی می‌شوند.

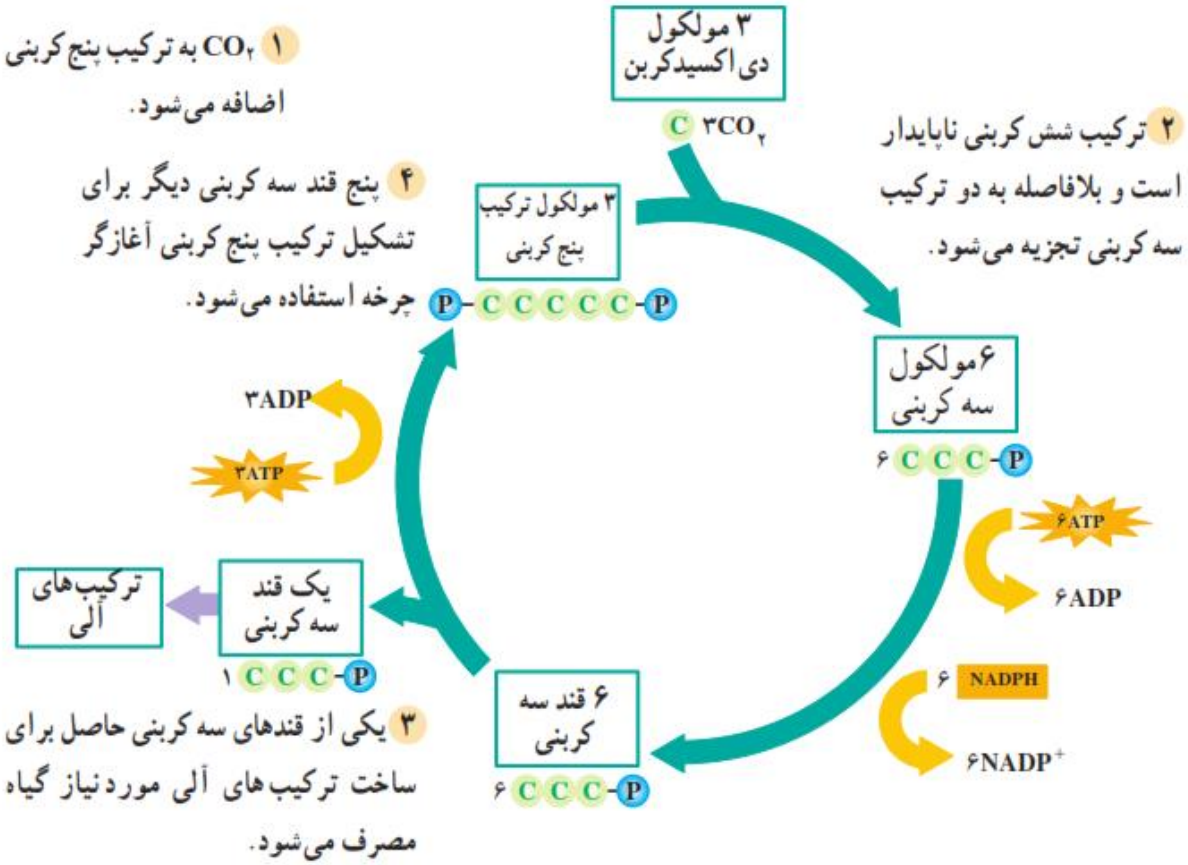
گام ۱: هر مولکول دی‌اکسیدکربن (در بستره کلروپلاست) با کمک یک آنزیم (به‌نام روبیسکو) به یک ترکیب پنج کربنی (ریبولوز بیس‌فسفات) اضافه می‌شود و یک ترکیب شش کربنی ناپایدار تولید می‌کند.

گام ۲: ترکیب شش کربنی حاصل به دو ترکیب سه کربنی شکسته می‌شود. از افزودن انرژی گروه‌های فسفات ATPو الکترون‌–های NADPH به این ترکیب‌ها قندهای سه کربنی تشکیل می‌شود.

گام ۳: تعدادی از قندهای سه کربنی حاصل برای ساخت ترکیب‌های آلی، مانند نشاسته و ساکارز، به مصرف می‌رسند.

گام ۴: از تعدادی دیگر از قندهای سه کربنی برای تولید مجدد ترکیب پنج کربنی اولیه، استفاده می‌شود. در نتیجهٔ آن، چرخه یک‌بار دیگر آغاز می‌شود.

این واکنش‌ها به‌طور چرخه‌ای انجام می‌گیرند، زیرا ترکیب پنج کربنی را بازسازی می‌کنند. در مجموع برای تشکیل هر مولکول قند سه کربنی، سه مولکول دی‌اکسیدکربن وارد چرخه می‌شود، به‌عبارتی با سه چرخهٔ کالوین یک قند سه کربنی ساخته و از چرخه خارج می‌شود ATP .و NADPH حاصل از واکنش‌های نوری، انرژی و هیدروژن مورد نیاز چرخهٔ کالوین را فراهم می‌کند.



مرحله‌ی سوم فتوسنتز یا واکنش‌های تاریکی در استرومای کلروپلاست یا درون سیتوسول باکتری‌های فتوسنتزی انجام می‌گیرد و طی آن انرژی شیمیایی نهفته در ATP وNADPH به ترکیبات تولید شده ازCO_2 (تثبیت دی‌اکسیدکربن) منتقل می‌شوند .

✓گام‌های انجام سه دور چرخه کالوین (رایج‌ترین نوع تثبیت دی‌اکسیدکربن):

۱ .ایجاد سه ترکیب شش‌کربنی ناپایدار از سه CO_2و سه ریبولوز بیس‌فسفات (پنج‌کربنه دو فسفاته) توسط آنزیم روبیسکو

۲ .شکسته شدن ۳ ترکیب ناپایدار شش‌کربنه به ۳ ترکیب (نه قند!!) سه‌کربنه و افزودن انرژی ۶ مولکول ATP و الکترون‌های ۶ مولکول(NADPH دو ATP و دو NADPH به ازای هر چرخه (و تشکیل ۶ قند سه‌کربنه یک‌فسفاته

۳ .خروج یکی از ۶ مولکول قند سه کربنه فوق از چرخه‌ی کالوین برای تولید مواد قندی

۴ .تولید ۳ مولکول پنج کربنه (ریبولوز بیس‌فسفات) جدید از ۵ مولکول قند سه کربنه دیگر با مصرف سه ATP

✓چرخه کالوین برای انجام ۳ بار خود نوشته شده است که برای ۳ بار انجام، ۳ مولکول CO_2 **، ۹ مولکول** ATP **و ۶ مولکول** NADPH **مصرف می‌کند.**

✓به ازای هر یک دی‌اکسیدکربن وارد شده به چرخه‌ی کالوین ۳ عدد ATP **و ۲ عدد** NADPH **مصرف و ۲ عدد قند سه‌کربنه تولید می‌شود .**

✓از ۶ مولکول سه‌کربنه، یکی (.....) از چرخه خارج شده و ۵ مولکول (.....) دوباره در چرخه استفاده می‌شوند.

✓در چرخه‌ی کالوین ریبولوز بیس‌فسفات (قند پنج‌کربنه) هم تولید و هم مصرف می‌شود، ولی CO_2 **و** ATP **تولید نمی‌شوند.**

✓در گام دوم چرخه‌ی کالوین ATP **و** NADPH **و در گام سوم** ATP **مصرف می‌شود .**

ATP **✓مصرف شده در گام دوم و سوم با هم متفاوتند. به این معنی که در گام دوم صرفا برای تولید انرژی و در گام سوم هم برای انرژی و هم برای دادن فسفات به ترکیب پنج‌کربنه یک‌فسفاته (ریبولوزفسفات) عمل کرده و آن را ریبولوز بیس‌فسفات می‌کند.**

$NADP^+$ **✓تولید شده در گام ۲ چرخه‌ی کالوین، به‌طور غیر مستقیم در تولید** ATP **نقش دارد، چون می‌تواند دوباره وارد زنجیره‌های انتقال الکترون شده و با دریافت الکترون موجبات انتقال پروتون‌ها به درون تیلاکوئید و خروج آن‌ها از طریق پروتئین** ATP **ساز و تولید** ATP**را فراهم آورد.**

✓در چرخه‌ی کالوین دی‌اکسیدکربن، ATP**،** NADPH **و مولکول قند پنج‌کربنه در بستره یا ماده زمینه کلروپلاست مصرف شده و در مقابل قند سه‌کربنه،** ADP**،** $NADP^+$ **و مولکول قند پنج‌کربنه نیز در بستره تولید می‌شود.**

✓واکنش‌های تبدیلی چرخه‌ی کالوین (گام‌های دوم و سوم) انرژی‌خواه‌اند.

✓پذیرنده الکترون‌ها در چرخه کالوین و در کل عمل فتوسنتز ترکیب سه‌کربنه و متعاقب آن قند سه‌کربنه است، در حالی‌که دهنده آن عمدتاً آب، در برخی موارد (در باکتری‌های گوگردی)H_2S یا (در باکتری‌های غیر گوگردی ارغوانی) ترکیبات آلی می‌باشد.

✓برای ساخت یک مولکول سه‌کربنهCO_2 ..... ۲، ATP ..... ،NADPH ..... ،..... الکترون، ..... آب مصرف شده، چرخه کالوین ..... بار انجام شده و ..... مولکول (..... اتم) اکسیژن و ..... آب تولید می‌شود. همین‌طور برای ساخت یک مولکول گلوکز ..... ۲CO_2، ATP ..... ،NADPH ..... ،..... الکترون، ..... آب مصرف شده، چرخه ..... انجام شده و ..... مولکول (..... اتم) اکسیژن و ..... آب تولید می‌شود. پس تعدادCO_2 مصرفی، اکسیژن و آب تولید شده و تعداد انجام چرخه به تعداد کربن‌های ترکیب حاصل و تعداد ATP ، NADPHو الکترون مصرفی به ترتیب برابر ..... ،..... و ..... برابر تعداد کربن‌های تولید شده است .

عوامل مؤثر بر فتوسنتز: عوامل محیطی مختلفی بر فتوسنتز تأثیر می‌گذارند. محسوس‌ترین عامل نور است.

به‌طور کلی سرعت فتوسنتز با افزایش شدت نور، تا حدی که همهٔ رنگیزه‌ها مورد استفاده قرار گیرند، زیاد می‌شود. در این حالت فتوسنتز به نقطهٔ اشباع خود می‌رسد، زیرا رنگیزه‌ها در این حالت نمی‌توانند نور بیشتری جذب کنند. افزایش تراکم گاز دی‌اکسیدکربن تا حدی معین نیز موجب افزایش سرعت فتوسنتز می‌شود.

فتوسنتز مانند سایر فرآیندهای متابولیسمی، مرتبط با بسیاری از واکنش‌های آنزیمی دیگر است. به یاد دارید که دامنهٔ دمایی خاصی برای فعالیت آنزیم‌ها مناسب است. به همین دلیل فتوسنتز در دامنه‌ای خاص از دماهای محیطی، بیشتر انجام می‌شود. دماهای خارج از این دامنه (چه بالاتر و چه پائین‌تر) ممکن است موجب غیر فعال شدن بعضی از (نه همه!!) این آنزیم‌ها شوند. سطح بهینهٔ فتوسنتز هر گیاه خاص، به شدت نور، تراکم دی‌اکسیدکربن و دما بستگی دارد.

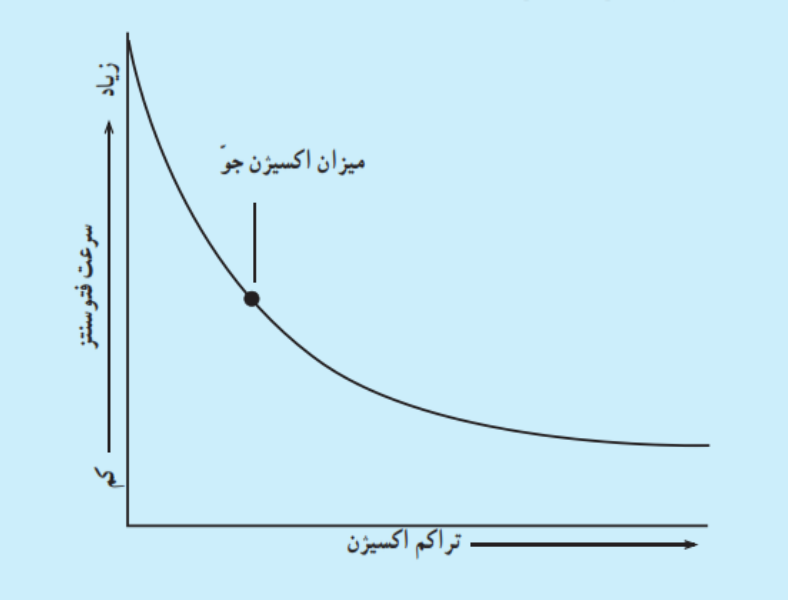
تنفس نوری مانع فتوسنتز است: تنفس نوری فرآیندی وابسته به نور است که طی آن اکسیژن جذب و دی‌اکسیدکربن آزاد می‌شود. این فرآیند در برخی گیاهان) یعنی گیاهان (C3 همراه با فتوسنتز انجام می‌شود. تنفس نوری مانع از وارد شدن دی‌اکسیدکربن به چرخهٔ کالوین می‌شود و به همین دلیل به‌عنوان فرآیندی مخالف با تولیدکنندگی فتوسنتز در نظر گرفته می‌شود. همان‌طور که قبلاً گفته شد هر مولکول دی‌اکسیدکربن که وارد چرخهٔ کالوین می‌شود ابتدا با یک مولکول ۵ کربنی ترکیب می‌شود. آنزیمی که این واکنش را کاتالیز می‌کند روبیسکو (RuBisCO) نام دارد. در ادامهٔ این واکنش نیز دو اسید سه کربنی تشکیل می‌شود. آنزیم

روبیسکو می‌تواند با اکسیژن نیز واکنش دهد، به‌عبارتی این آنزیم نه تنها موجب کربوکسیله شدن ترکیب ۵ کربنی) ترکیب آن با (CO_2می‌شود، بلکه واکنش اکسیژناسیون) ترکیب با (O_2 آن را نیز کاتالیز می‌کند. به همین دلیل این آنزیم به روبیسکو (ریبولوز بیس‌فسفات کربوکسیلاز – اکسیژناز) مشهور شده است. بنابراین مقادیر نسبتاً بالای CO_2 به نفع فرآیند فتوسنتز و مقادیر نسبتاً بالای اکسیژن به نفع فرآیند تنفس نوری است .

در تنفس نوری، مولکول ۵ کربنی که با اکسیژن ترکیب شده است، (در کلروپلاست) تجزیه و از آن یک مولکول ۳ کربنی و یک مولکول ۲ کربنی حاصل می‌شود. مولکول ۲ کربنی از کلروپلاست خارج و با واکنش‌هایی که بخشی از آن‌ها در میتوکندری انجام می‌شود، یک مولکول CO_2 آزاد می‌کنند. توجه داشته باشید که در فرآیند تنفس نوری، برخلاف تنفس سلولی مولکول ATP تولید نمی‌شود (فرآیند تنفس سلولی را در ادامهٔ این فصل می‌خوانید).

✓نسبت غلظت CO_2 به O_2 نشان‌دهنده‌ی این است که آنزیم روبیسکو فعالیت کربوکسیلازی داشته باشد یا اکسیژنازی. اگر این نسبت بالا باشد، فعالیت کروبوکسیلازی انجام شده و CO_2 را به ریبولوز بیس‌فسفات اضافه کرده و چرخه‌ی کالوین را راه می‌اندازد، ولی اگر این نسبت پائین باشد، واکنش اکسیژنازی (تنفس نوری) غالب شده و ریبولوز بیس‌فسفات شکسته، علاوه بر مولکول سه‌کربنی، یک مولکول دوکربنی تولید می‌شود که از کلروپلاست خارج شده و در میتوکندری یک CO_2 آزاد می‌کند. از این مولکول دوکربنی ATP تولید نمی‌شود .

✓بخشی از تنفس نوری در کلروپلاست و بخش دیگری از آن در میتوکندری انجام می گیرد. پیش‌ماده آن ریبولوز بیس‌فسفات و اکسیژن و محصول نهایی آن قند سه‌کربنه و دی‌اکسیدکربن است. در این مسیر ATP تولید نمی گردد.



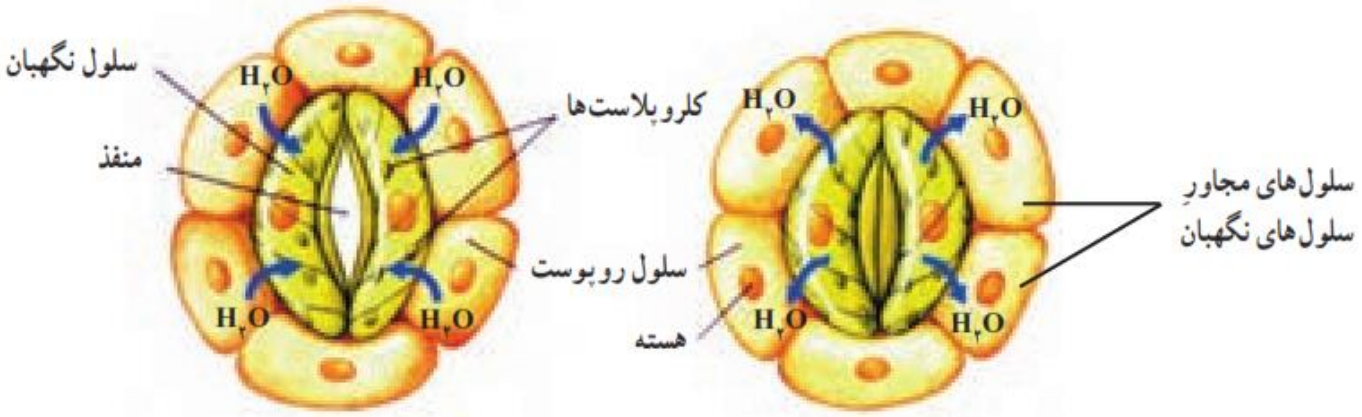
افزایش O_2 منجر به کاهش در میزان فتوسنتز می‌شود. چون فعالیت اکسیژنازی روبیسکو برخلاف فعالیت کربوکسیلازی آن افزایش پیدا می‌کند. ولی میزان فتوسنتز به صفر نمی‌رسد. به این معنی که در نهایت مقداری فعالیت کربوکسیلازی انجام می‌دهد.

سازگاری‌های ویژه‌ای تنفس نوری را کاهش می‌دهند: هوای گرم و خشک، تعرق گیاه را افزایش می‌دهد. از طرفی افزایش تعرق باعث می‌شود تا گیاه آب را از راه روزنه‌ها از دست بدهد. به همین دلیل روزنه‌های بسیاری از (نه همه!!) گیاهان در هوای گرم و خشک (برای جلوگیری از اتلاف آب گیاه) بسته می‌شوند. بسته بودن روزنه‌ها ممکن است دی‌اکسیدکربن برگ را به‌حدی پایین آورد که وضع را برای انجام تنفس نوری مناسب سازد، زیرا CO_2 نه فقط وارد برگ نمی‌شود، بلکه با انجام فتوسنتز مصرف نیز می‌شود. این وضع سبب کاهش نسبت CO_2 به O_2 در برگ و در نتیجه مناسب شدن شرایط لازم برای فعالیت اکسیژنازی آنزیم روبیسکو می‌شود. برای مقابله با این وضع چه سازگاری‌هایی در گیاهان انجام شده است؟

✓منظور از سازگاری‌های به‌عمل آمده در مناطق گرم و خشک، وجود یک‌سری واکنش‌های فرعی و ضمیمه‌ای است که قبل از چرخه‌ی کالوین انجام می‌شوند و منجر به افزایش غلظتCO_2 ۲ در اطراف آنزیم روبیسکو می گردد.

تعریق از راه روزنه‌های ویژه‌ای به نام **روزنه‌های آبی** که در منتهی‌الیه آوندهای چوبی قرار دارند انجام می‌شود. دهانهٔ این روزنه‌ها همواره باز است. روزنه‌های آبی در حاشیهٔ برگ‌های لادن، عشقه، گوجه‌فرنگی و یا در انتهای برگ‌های گیاهان تیرهٔ ***گندمیان***

تیره گندمیان یعنی گندم و ذرت روزنه ابی دارند



۱ــ سلول‌های نگهبان پس از جذب آب انبساط طولی پیدا می‌کنند و از یکدیگر دور می‌شوند. درنتیجه روزنه‌ها باز می‌شود.

۲ــ سلول‌های نگهبان آب از دست می‌دهند و کوتاه‌تر می‌شوند. با نزدیک شدن این سلول‌ها به یکدیگر روزنه بسته می‌شود.

شکل ۳۲ــ۶ــ تغییرات شکل سلول‌های نگهبان باعث باز و بسته شدن روزنه‌ها می‌شود.

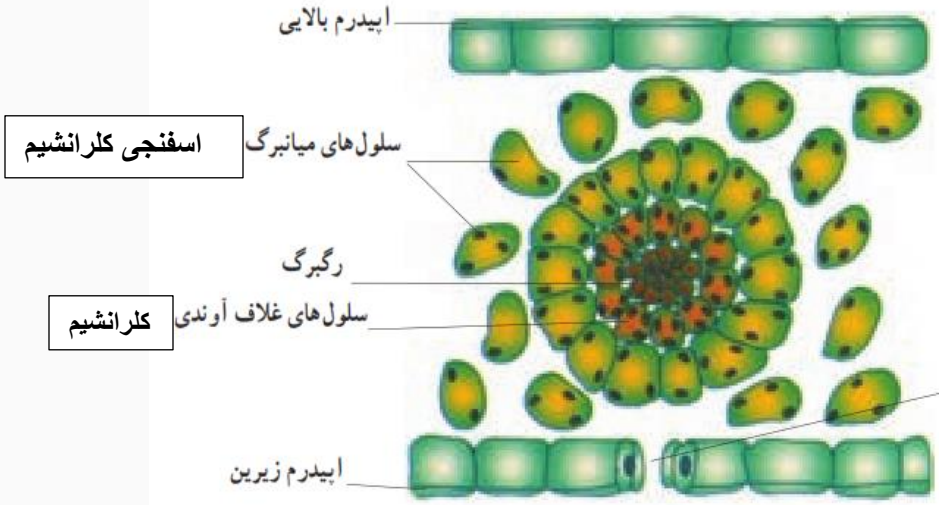
گیاهان C4

بیشتر گیاهان برای تثبیت دی‌اکسیدکربن فقط از چرخهٔ کالوین استفاده می‌کنند. به این گیاهان، گیاهان C3 می‌گویند، زیرا اولین مولکول آلی پایداری که در آن‌ها تشکیل می‌شود یک اسید ۳ کربنی است. در بعضی گیاهان، مانند نیشکر، ذرت و بعضی دیگر از گیاهان که نسبت به گرما مقاوم‌اند، قبل از چرخهٔ کالوین واکنش‌های دیگری) در جهت تغلیظ CO_2 در اطراف روبیسکو (انجام می‌گیرد. حاصل تثبیت دی‌اکسیدکربن در این واکنش‌ها یک اسید ۴ کربنی است. به همین دلیل این گیاهان را گیاهان C4 می‌نامند. سلول‌های فتوسنتزکننده‌ی برگ (پارانشیم کلروفیل‌دار یا کلرانشیم) این گیاهان به دو شکل یافت می‌شوند:

۱ .لایه‌ای از سلول‌های فشرده و کلروپلاست‌دار به‌نام سلول‌های غلاف آوندی که دور تا دور هر رگبرگ را احاطه می‌کند.

۲ .سلول‌های (نامتراکم) میانبرگ که در تماس با فضاهای هوادار برگ هستند و در اطراف سلول‌های غلاف آوندی قرار دارند

در این شکل میانبرگ نرده ای دیده نمی شود

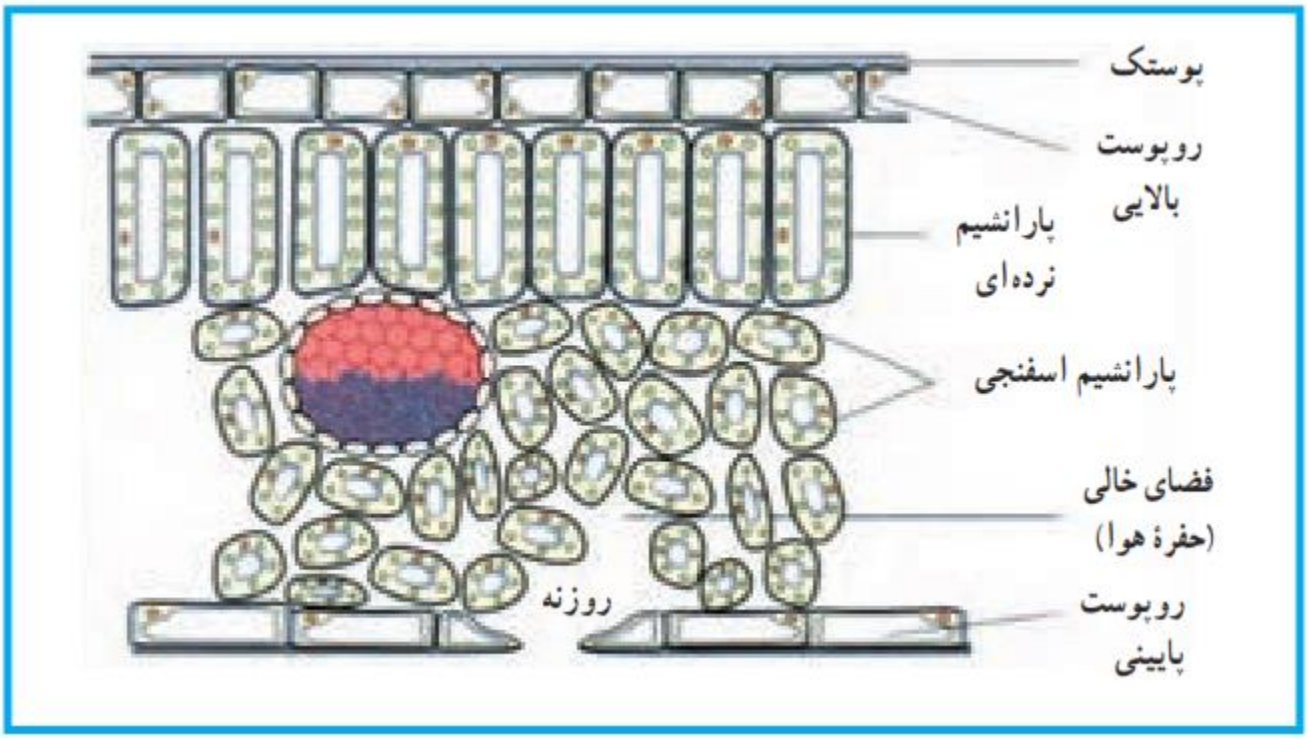


اسفنجی کلرانشیم

کلرانشیم

فتوسنتز کننده

شکل ۷ــ ۸ ــ آناتومی برگ یک گیاه C_3



گیاهان C4 برای تثبیتCO_2از مسیری دو مرحله‌ای استفاده می‌کنند. در این مسیر دو سیستم آنزیمی متفاوت و مجزا درگیر هستند. اولین سیستم (آنزیمی) در سلول‌های میانبرگ عمل می‌کند. این سیستم آنزیمی در واکنش‌های مربوط به ترکیب دی‌اکسیدکربن با

یک اسید ۳ کربنی شرکت می‌کند. اسید ۴ کربنی حاصل (توسط پلاسمودسم‌ها) به سلول‌های غلاف آوندی منتقل می‌شود. دومین سیستم آنزیمی در سلول‌های غلاف آوندی عمل می‌کند. در این سلول‌ها دی‌اکسیدکربن از اسید ۴ کربنی آزاد و وارد چرخهٔ کالوین می‌شود و همانند چرخهٔ کالوین در گیاهان C3 قند سه کربنی را می‌سازد .

سیستم آنزیمی که در سلول‌های میانبرگ وجود دارد به‌طور مؤثری منجر به انتقال دی‌اکسیدکربن به درون سلول‌های غلاف آوندی می‌شود. بنابراین تراکم CO_2 درون سلول‌های غلاف آوندی در مقایسه با جوّ بیشتر است. این حالت وضع را برای انجام فتوسنتز مناسب می‌کند و مانع از انجام تنفس نوری می‌شود. وجود تراکم بالای دی‌اکسیدکربن در اطراف آنزیم روبیسکو در گیاهان C4 سبب شده است که حتی با وجود دماهای بالا و شدت‌های زیاد نور (عوامل مناسب برای تنفس نوری)، این گیاهان بر تنفس نوری غلبه کنند. بنابراین گیاهان C4 می‌توانند در حالی که روزنه‌های آن‌ها تقریباً بسته است، در دماهای بالا و شدت‌های زیاد نور با بیشترین کارآیی عمل کنند و هم‌چنین مانع از افزایش دفع آب شوند. به همین دلیل گیاهان C4 در آب و هوای گرم (نه همیشه!!) سریع‌تر از گیاهان C3 رشد می‌کنند. کارآیی گیاهان C4 در دمای بالا، شدت زیاد نور، یا کمبود آب (نه همیشه!!) تقریباً دو برابر گیاهان C3 است .

✓از گیاهان C3 می‌توان به خزه‌ها، جلبک‌ها و اغلب بازدانگان و نهان‌دانگان اشاره کرد و از گیاهان C4می‌توان به ذرت و نیشکر (علفی) اشاره نمود.

✓در میانبرگ گیاهان C4 مثل نیشکر و ذرت (هر دو تک‌لپه‌ای) سلول پارانشیم نرده‌ای (یا استوانه‌ای) وجود ندارد و کل میانبرگ از سلول‌های اسفنجی پوشیده شده است .

✓در گیاهان C3 در روزهای گرم و خشک به دلیل بسته شدن روزنه‌های هوایی دی‌اکسیدکربن وارد فضای بین سلول‌های برگ نشده و به‌دلیل کاهش موضعی CO_2 و تولیدO_2 درون فضای برگ، فعالیت کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو کاهش یافته و فعالیت اکسیژنازی بالای آنزیم باعث تنفس نوری زیاد می‌شود. در این حالت شدت فتوسنتز کم خواهد شد.

✓سیستم آنزیمی ۱ در سلول‌های میانبرگ CO_2 را گرفته، به‌صورت یک مولکول چهارکربنه تثبیت کرده و از طریق پلاسمودسماتا به سیستم آنزیمی ۲ در سلول‌های غلاف آوندی می‌فرستد تا در آنجا ترکیب چهارکربنه را شکسته وCO_2 تولید نمایند .

✓در گیاهان C4 مثل نیشکر و ذرت تولید ترکیب چهارکربنه (تثبیت دی‌اکسیدکربن در مولکول چهارکربنه) در سلول‌های میانبرگ انجام می‌شود، ولی تجزیه آن و تولیدCO_2 ، همین‌طور چرخه‌ی کالوین و عمل آنزیم روبیسکو در سلول‌های غلاف آوندی اتفاق می‌افتد .

✓سلول‌های میانبرگ، غلاف آوندی هر دو کلروپلاست دارند، هر دو واکنش‌های نوری را نیز انجام می‌دهند ولی واکنش‌های تاریکی (و چرخه کالوین) فقط در سلول‌های غلاف آوندی صورت می گیرد.

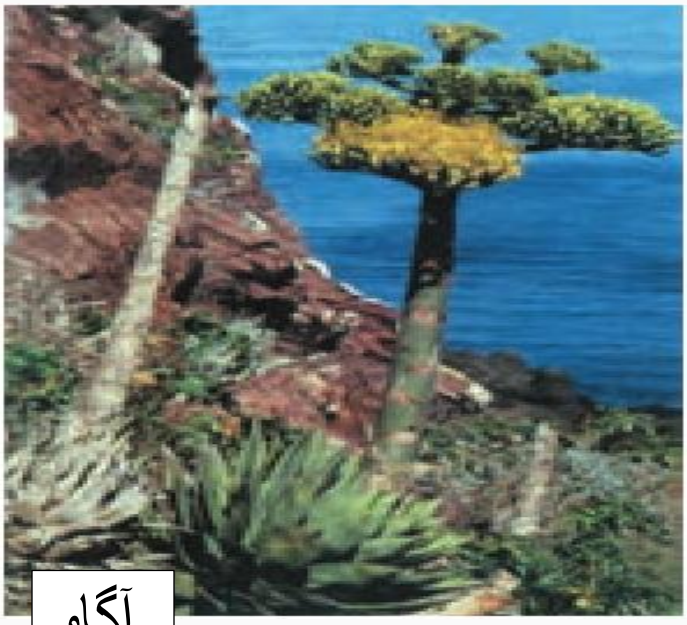
✓سلول‌های تمایز یافته نگهبان روزنه کلروپلاست دارند و فتوسنتز انجام می‌دهند ولی دیگر سلول‌های روپوست فوقانی و روپوست تحتانی فاقد کلروپلاست بوده و فتوسنتز انجام نمی‌دهند .

✓در گیاهان C4 مثل ذرت و نیشکر، در میانبرگ چرخه‌ی کالوین و آنزیم روبیسکو فعال نیست. در میانبرگ دی‌اکسیدکربن فقط به‌صورت اسید آلی ۴ کربنه تثبیت می‌شود.

✓هر دو عمل تولید و تجزیه‌ی مولکول چهارکربنه، در سلول‌های میانبرگ و غلاف آوندی در طول روز انجام می گیرد. به این ترتیب در گیاهان C4 در طول روز واکنش‌های تاریکی اتفاق می‌افتد .

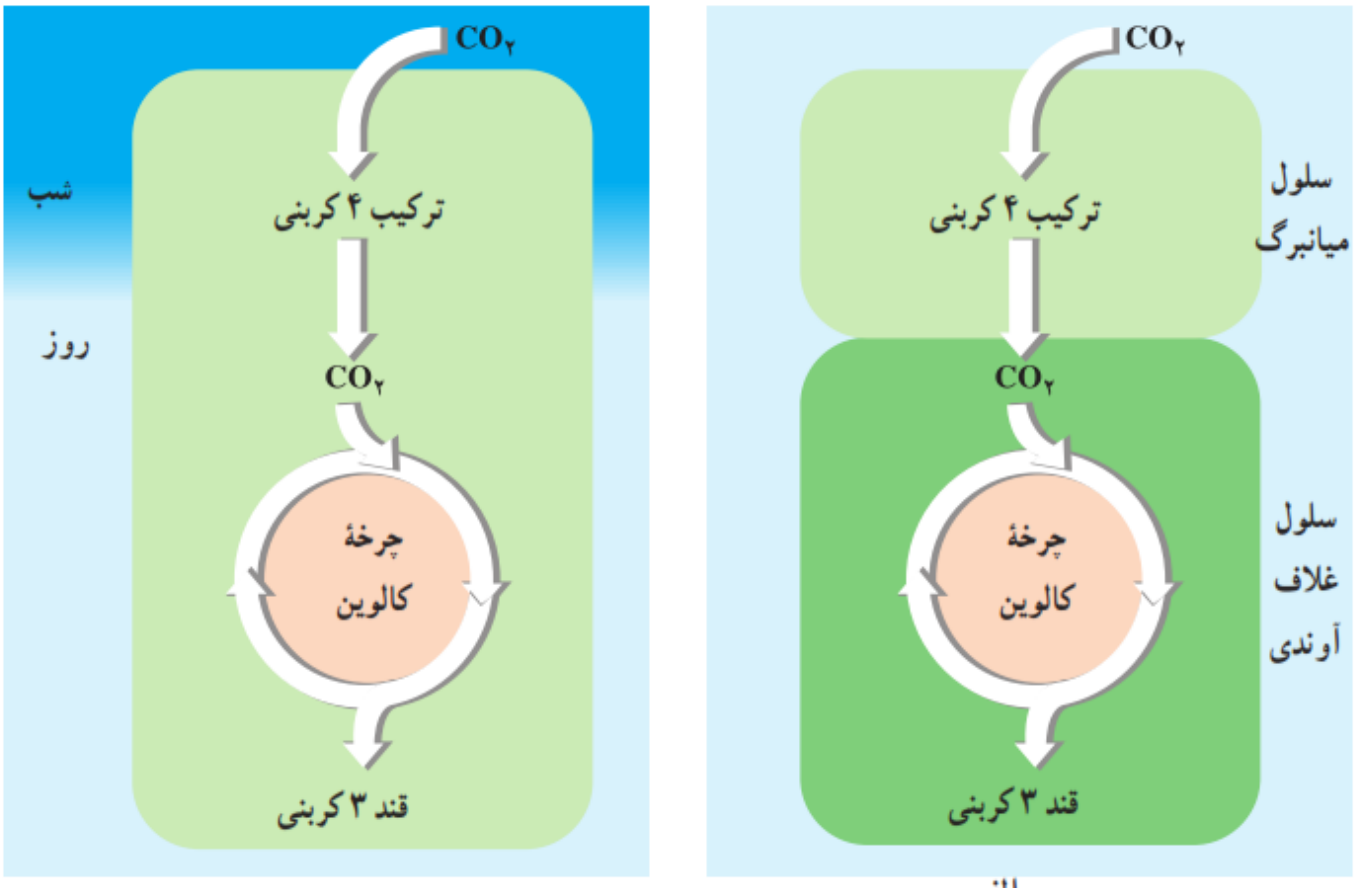
✓تنفس نوری در گیاهان C3 دیده می‌شود و گیاهان C4تنفس نوری ندارند. آنزیم روبیسکو غلاف آوندی در گیاهان C4 با وجود دمای بالا و شدت نور زیاد و بسته بودن روزنه‌ها فعالیت اکسیژنازی انجام نمی‌دهد، چون غلظت CO_2 در غلاف آوندی بیشتر از جو است.

گیاهانCAM



نوعی دیگر از اختصاصی‌شدن فتوسنتز در گیاهان بیابانی، مانند کاکتوس وجود دارد. این نوع فتوسنتز را متابولیسم اسید کراسولاسه‌ای یا CAM **می‌نامند. این نوع فتوسنتز، سازشی مهم برای گیاهان ساکن اکوسیستم‌های خشک، یا در وضعیت‌های بسیار خشک است. روزنه‌های گیاهان** CAM **برخلاف گیاهان** C4 **و** C3 **در شب باز می‌شود. این گیاهان در شب دی‌اکسیدکربن را به‌صورت اسیدهای آلی تثبیت و سپس در واکوئل ذخیره می‌کنند) گیاهان تیره‌ی کراسولاسه (گل ناز) دی‌اکسید کربن را در شب به‌صورت مالیک‌اسید** (C4)

ذخیره می‌کنند .(طی روز که دما بالا و رطوبت کم است، روزنه‌ها بسته‌اند، تا از انجام تعرق که می‌تواند برای گیاه مرگ‌آور باشد، ممانعت کنند. اسیدهای آلی که در شب تشکیل شده‌اند، در روز دی–اکسیدکربن آزاد می‌کنند. دی‌اکسیدکربن به درون کلروپلاست‌ها انتشار می‌یابد و وارد چرخهٔ کالوین می‌شود که مولکول‌های پرانرژی (ATP و NADPH) مورد نیاز خود را از واکنش‌های نوری فتوسنتز گرفته است. کارایی فتوسنتز نوع CAMچندان بالا نیست. گیاهانی که این نوع فتوسنتز را انجام می‌دهند، گرچه قادر به حفظ بقای خود در گرمای شدیدند، اما معمولاً به کندی رشد می‌کنند.



شکل ۸ــ ۸ ــ تثبیت کربن در گیاهان C_4(الف) و CAM (ب)

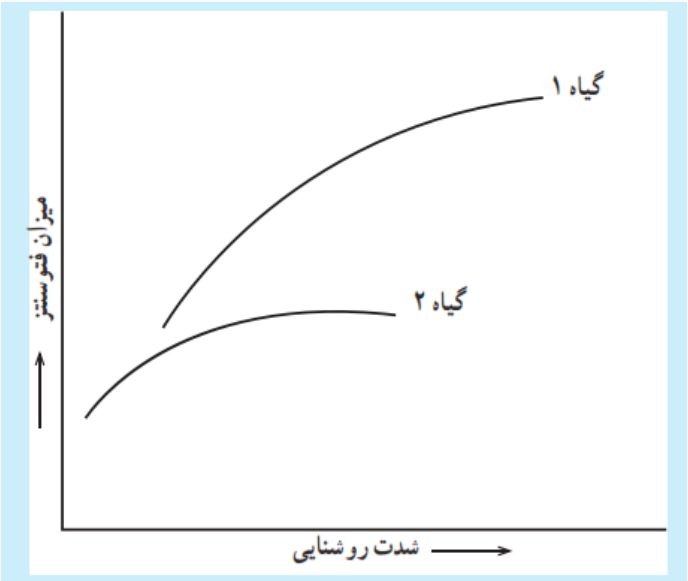
در کاکتوس، CO_2فقط در شب جذب شده، در سیتوپلاسم به ترکیب چهارکربنه تبدیل می‌شود. این ترکیب چهارکربنه درون واکوئل‌ها به‌صورت ترکیب‌های آلی اسیدی چهارکربنه ذخیره می‌شود و در طول روز از تجزیه‌ی آن دی‌اکسیدکربن به‌وجود آمده، به درون کلروپلاست وارد شده و در آن‌جا توسط چرخه کالوین تثبیت شده و به‌صورت قند سه‌کربنه در می آید.

✓در گیاهان CAM تثبیت CO_2 در دو مرحله انجام می گیرد. هر دو مرحله درون یک سلول ولی درون دو موقعیت متفاوت (سیتوپلاسم و کلروپلاست) انجام می‌شوند. این در حالی است که در گیاهان C4 تثبیت CO_2 در دو مرحله ولی در دو سلول متفاوت (سلول میانبرگ و سلول غلاف آوندی) اتفاق می‌افتد.

✓در گیاهان C4 جدایی مکانی بین اتفاقات وجود دارد و در گیاهان CAM جدایی از نوع زمانی است .

✓در C4 در طی شب و در CAM درون واکوئل ابتدا یک اسید چهارکربنه تولید و در نهایت در C4 در طی روز و در CAM درون استروما یک اسید سه‌کربنه تولید می‌شود. این در حالی است که در گیاهان C3 از همان ابتدا هم در طول روز و هم در شب، در استروما اسید سه‌کربنه تولید می‌شود.

✓فرآورده‌ی نهایی در هر سه نوع گیاهان تولید قند سه‌کربنه توسط چرخه‌ی کالوین است که در استرومای کلروپلاست انجام می گیرد.



✓فتوسنتز در گیاه ۱ در شدت‌های بالاتر نور و در گیاه ۲ در شدت پائین نور به اشباع می‌رسد. پس گیاه ۱ نورپسند و گیاه ۲ بیشتر سایه‌پسند است. از طرفی میزان فتوسنتز در گیاه ۱ از گیاه ۲ بیشتر (تقریباً ۲ برابر آن) است. پس گیاه ۱ یک گیاه C4 و گیاه ۲ یک گیاه C3 می‌تواند باشد.

✓کارایی فتوسنتزی گیاهان C4 از گیاهان C3 بیشتر و برای C3 از گیاهان CAM بیشتر است. در شدت‌های نوری بسیار کم، کارایی فتوسنتزی گیاهان C3 می‌تواند بیشتر از سایرین باشد.

برای تولید یک قند سه کربنه باید سه بار کالوین انجام شود

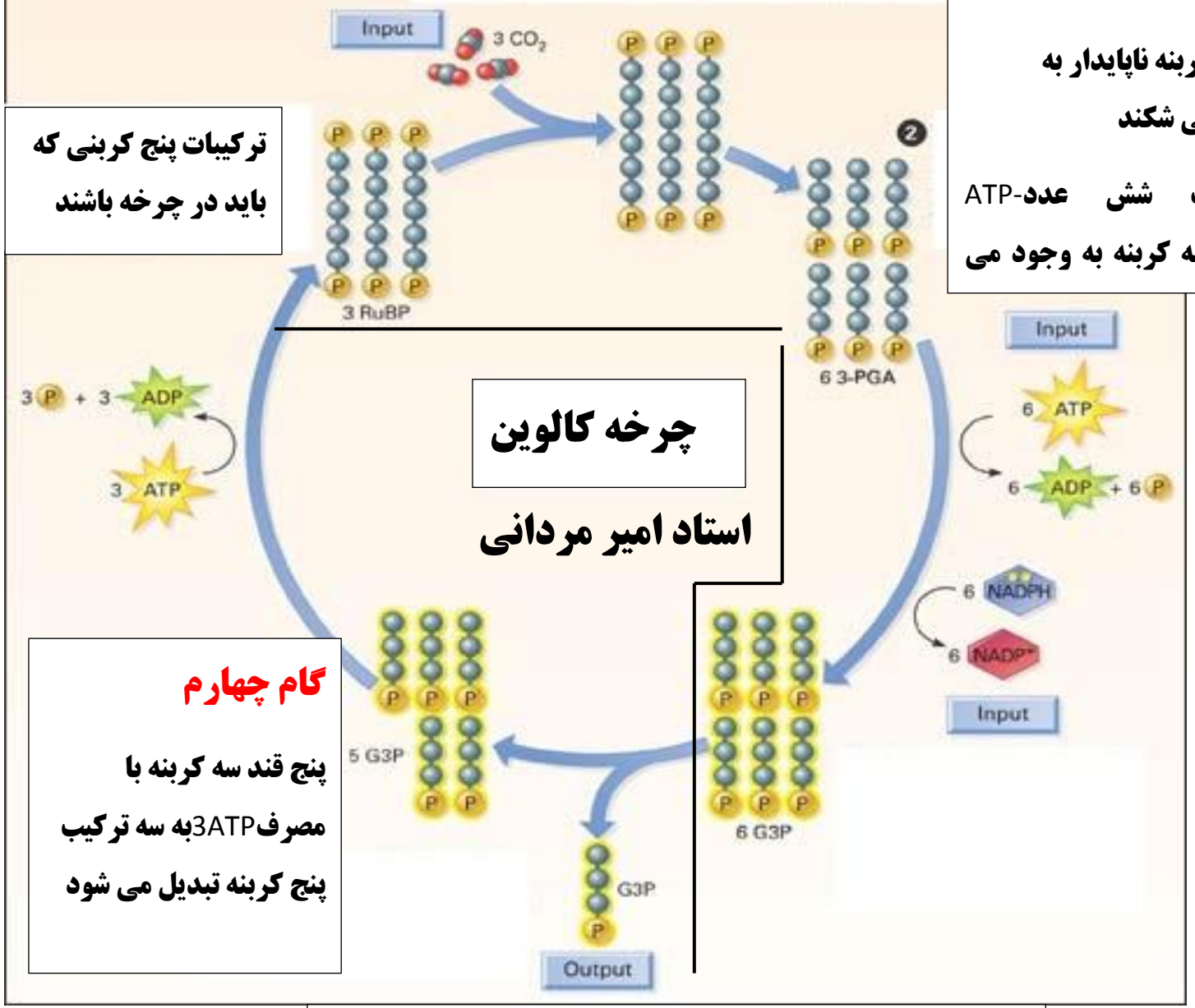
گام اول: به کمک انزیم روبیسکو co2 به ترکیب پنج کربنه اضافه می شود

گام دوم

ابتدا ترکیب شش کربنه ناپایدار به ترکیبات سه کربنه می شکند

سپس با مصرف شش عدد ATP- NADPH شش قند سه کربنه به وجود می

ترکیبات پنج کربنی که باید در چرخه باشند



گام چهارم

پنج قند سه کربنه با مصرف 3ATP به سه ترکیب پنج کربنه تبدیل می شود

گام سوم: قند سه کربنه ایجاد شده از چرخه خارج می شود

کالوین مرحله تاریکی در استروما کلروپلاست

AMIR MARDANI