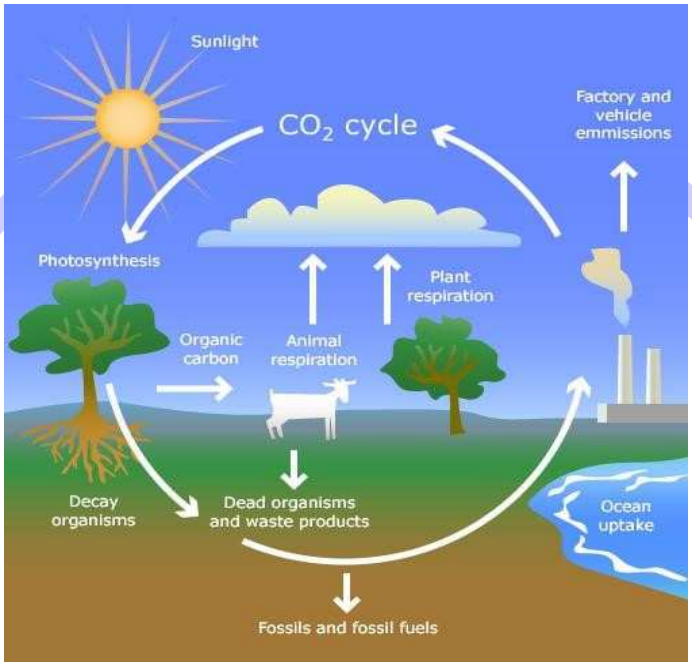
دورة الكاربون وعلاقتها بميكروبات التربة:

يوجد الكاربون في الغلاف الجوي على شكل CO_2 ، كما يوجد في المركبات التي تك و ن أجسام الأحياء البرية والبحرية و هياكلها، وفي التربة ضمن المادة العضوية والدبال، وفي الغلاف المائي على شكل CO_3، HCO ذائبة في الماء ، كما يوجد أيض ا في الغلاف الصخري والوقود الإحفوري)الفحم الحجري و النفط و الغاز الطبيعي(، تبدأ دورة الكاربون في الطبيعة بعملية التمثيل الضوئي فهي التي تحرك الكاربون في الطبيعة ولو توقفت لتوقف وجود هذا العنصر في الأشكال الأخرى الحاملة له. وفي هذه العملية تأخذ النباتات)المنتجات(غاز ثاني أوكسيد الكاربون من الجو والضوء من أشعة الشمس والماء والتربة لتصنع منها الكربوهيدارات)المواد العضوية أو إحدى صيغ سكر الكلوكوز(في مجموعة من المعادلات نجملها في المعادلة التالية، إذ في هذه العملية يستهلك النبات ثائي أوكسيد الكاربون الجوي ويطلق الأوكسجين.

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

و في النبات أيضا تتم عملية التنفس، و ينتج عن ذلك غاز CO_2 الذي يعود إلى الغلاف الجوي، و من ثم يستخدم في عملية البناء الضوئي بحيث تكتمل الدورة برجوعه إلى النبات.)من الملاحظ أن دورة الكاربون مرتبطة إلى حد كبير بما يحدث لغاز CO_2(، وغالب ا ما تتبع دورة الكاربون مسارات أكثر تعقيد ا ، فبعد تحول الكاربون الذي يكتسبه النبات إلى مواد عضوية ،تتغذى الحيوانات)المستهلكات(عليها ،فتتم عملية هضم المواد العضوية وإمتصاصها و تمثيلها لتساهم في بناء الأنسجة الحيوانية. و بناء ا عليه فإن ذرات الكاربون الموجودة في النبات تصبح جزء ا من تركيب خلايا جسم الحيوان الذي تغذى عليها. و يمكن للكاربون أن يرجع إلى الجو عن طريق عملية التنفس و ينتج من ذلك ثاني أكسيد الكاربون. و ي فقد جزء ا من الكاربون المتبقي في خلايا وأنسجة الكائنات الحية المستهلكة عن طريق إفرازاتها و فضلاتها، و بعد موتها فإن الكاربون يؤول إلى المادة العضوية التي يمكن أن يعود منها إلى الجو بفعل عمليات التحلل الهوائية بوساطة الكائنات الحية الدقيقة)المحللات(. ويبين الشكل التالي مخططا لدورة ثاني أوكسيد الكاربون في الطبيعة.

1987 1408
UNIVERSITY OF ANBAR



تقوم أحياء التربة بتفكيك المواد العضوية الطبيعية جميعها، وتحسين خصوبة التربة بتحطيم أنسجة النباتات والحيوانات فيها، ودمج النواتج والمعادن المحررة مع التربة، كما أن لبعض أنواعها القدرة على حل بعض المنتوجات المصنعة من الإنسان، حيث تحول أحياء التربة بشقيها الفلورا النباتية والفونا الحيوانية المواد المتحللة إلى معقد عضوي مهم في التربة يسمى الدبال Humus وهو يتركب من نحو 60% كاربون ونحو 6% من النيتروجين إضافة إلى مركبات فينولية وفوسفاتية عضوية وسكريات معقدة وغيرها، إذ تمزج حيوانات التربة بحركتها الدبال مع التربة مما يساعد على تحسين خواص التربة بتفتيت حبيباتها وتهويتها وحركة الماء فيها وتجعل الدبال المتكون في متناول الأحياء الدقيقة.

تقوم الأحياء المجهرية بهدم الدبال وحل ه، ويتم هذا التحلل بصورة بطيئة محررة منه المغذيات النباتية بعد موت هذه الأحياء. إن أحياء التربة المجهرية التي تقوم بدور مهم في دورة الكاربون هي البكتيريا والفطريات.

تحلل المادة العضوية:

تتعدد مصادر المادة العضوية التي تتعرض للتحلل الميكروبي في التربة، وتعتبر الأنسجة النباتية والمخلفات النباتية المصدر الرئيسي لتلك المواد العضوية بما تشتمله من أوراق وأغصان وجذور، ومن المصادر الأخرى للمادة العضوية في التربة هو مخلفات الحيوانات والأحياء الدقيقة وبقايا أجسامها المتحللة بعد موتها إضافة إلى المواد العضوية الصناعية التي تضاف إلى التربة كالأسمدة الصناعية العضوية والمنتجات العضوية الأخرى، وعلى الرغم من تنوع مصادر المادة العضوية في التربة فإن بقايا النبات تبقى المصدر الرئيسي للمواد العضوية في التربة، إن هذه البقايا النباتية توفر خليط ا متنوع ا من المركبات التي تتباين في خواصها الفيزيائية والكيميائية، وبصورة عامة يمكن وضع المركبات العضوية المكونة للمخلفات تحت 6 مجاميع رئيسية هي:

1. **مواد سليلوزية:** وتمثل أكبر نسبة من المخلفات النباتية والتي تصل إلى 15-60 %.
2. **مواد هيميسليلوزية:** وتشكل 10-30 %.
3. **لكنين:** 5-30 %.
4. **مواد ذائبة في الماء:** مثل السكريات البسيطة والأحماض العضوية والأحماض الأمينية 5 – 30 %.
5. **مواد ذائبة في الكحول أو الإيثر:** وتتضمن الزيوت والدهون والشموع وتشكل تقريبا 2 %.

1987 1408
UNIVERSITY OF ANBAR

6. **البروتينات:** والتي يدخل في تركيبها النيتروجين والكبريت.

وعادة تنخفض نسبة المواد الذائبة في الماء والبروتينات والمعادن في حين تزداد نسبة السليلوز والهيميسليلوز واللكنين كلما تقدم عمر النبات .وإن تحليل المادة العضوية من قبل الأحياء الدقيقة يهدف إلى هدفين: الأول هو الحصول على الطاقة اللازمة للنمو والثاني الحصول على الكاربون اللازم لتكوين مادة الخلية الجديدة. إن معظم خلايا الأحياء المجهرية تحتوي على نسبة تتراوح بين 40- 50 % كاربون من الوزن الجاف للخلايا وهي تحصل عليه من المادة العضوية التي تقوم هي بتحليلها ،ويطلق على تحويل الكاربون في المادة العضوية إلى كاربون البروتوبلازم بعملية الإندماج Assimilation.

تختلف أحياء التربة المجهرية في كفاءتها في عملية تمثيل الكاربون العضوي، ويقصد بكفاءة الكائن المجهري قدرته على تحويل الكاربون في المادة العضوية إلى كاربون خلوي، وكلما زادت كفاءة الكائن المجهري في التمثيل قلت كمية كل من المخلفات العضوية الناتجة و CO_2 المتحرر، وبصورة عامة تكون الفطريات والأكتينوماسيتات أكثر كفاءة في تمثيل الكاربون من البكتيريا الهوائية، أما البكتيريا اللاهوائية فإن كفاءتها تكون أقل من كفاءة البكتيريا الهوائية وتنتج الكثير من المخلفات الكاربونية العضوية ولا تتحرر كميات كبيرة من الطاقة من المادة العضوية الأصلية بفعل هذه الميكروبات اللاهوائية. ويمكن للكائنات المجهرية المحللة أن تستفاد من جزء من الكاربون الناتج عن عمليات التحلل بعملية التمثيل الغذائي وبناء أجسامها. وفي نفس الوقت الذي يتم فيه تمثيل الكاربون فإن هناك أيض ا تمثيل لكميات من النيتروجين والفسفور والبوتاسيوم والكبريت وغيرها، ولما كان تمثيل هذه العناصر المعدنية من قبل الأحياء المجهرية يتحدد فقط بالكميات اللازمة لتخليق الخلية فإن معدل تمثيلها يتناسب طردي ا مع كمية الكتلة الحية المتكونة من الأحياء المجهرية وهو بالتالي مرتبط بكمية الكاربون الممثلة.

- ويمكن الإستدلال عن مستوى النشاط الميكروبي بعدة طرق منها:
  1. قياس CO_2 المنطلق أو O_2 المستهلك.
  2. تقدير النقص في كمية المادة العضوية بالطرق الفيزيائية أو الكيميائية.
  3. تتبع إختفاء مادة معينة مثل السليلوز أو اللكنين أو الهيميسليلوز خلال مراحل تحلل المادة العضوية في التربة.
- كما يمكن تمييز ثلاثة عمليات تسير جنبا إلى جنب أثناء عملية التحلل والتمثيل وهي:
  1. إختفاء الأنسجة الحيوانية والنباتية بتأثير إنزيمات الأحياء المجهرية.
  2. في نفس الوقت يتم تكوين خلايا جديدة من الأحياء المجهرية فتظهر أنواع من البروتينات والسكريات العديدة والأحماض النووية الخاصة بالأحياء المجهرية من بكتيريا وفطريات وغيرها.
  3. العملية الثالثة هي التمثيل الغذائي لنواتج التمثيل الغذائي الذي تفرزها الأحياء المجهرية والتي يعاد تمثيلها مرة أخرى أو تتراكم في التربة.

وعلى الرغم من إختلاف مصادر المادة العضوية في التربة وتنوع خواصها الكيميائية إلا أن الكائن الحي المجهري لا يحصل على الطاقة إلا من المركبات التي تدخل إلى داخل الخلية ولذلك فإن المركبات الكبيرة الحجم أو المعقدة التركيب يجب تحويلها إلى جزيئات بسيطة التركيب كي تتحلل داخل الخلية وبذلك يمكن إستخلاص الطاقة منها كتحلل السكريات العديدة غير الذائبة وتحويلها إلى مركبات بسيطة التركيب.

1987 1408
UNIVERSITY OF ANBAR

التغيرات التي تحدث خلال مراحل تحلل المواد العضوية:

تنمو أنواع عديدة من الأحياء المجهرية في التربة على حساب المركبات العضوية المختلفة وينتج عن ذلك إختفاء بعض المركبات العضوية بسرعة بينما تبقى بعض المواد الأخرى في التربة نتيجة قلة تأثرها بفعل أنزيمات الأحياء المجهرية)عدم قدرة الإنزيمات على تحليل تلك المواد(، وعادة الجزء الذائب في الماء من المواد العضوية النباتية يحتوي على مركبات لا تقاوم التحلل)سهلة التحلل(وبذلك يتم تمثيلها بسرعة، فبالنسبة للسليلوز والهيميسليلوز فإنهما يختفيان بسرعة أقل من سرعة إختفاء المركبات الذائبة في الماء ،وعلى الرغم من ذلك فإن مقاومتهما للتحلل ليست كبيرة مقارنة باللكنين الذي يقاوم التحلل بدرجة كبيرة لذلك يكثر وجود اللكنين نسبي ا في بقايا المواد العضوية المتحللة ،وعند إضافة المواد العضوية إلى التربة سرعان ما يحدث نقص ملحوظ في كمية O_2 في التربة والذي يكون مصحوب ا بزيادة كمية CO_2 ، أي أن النواتج الأساسية لمعدنة الكاربون تحت الظروف الهوائية هي:

CO_2 ، الماء ، إضاف ة إلى جزء من الكاربون يشترك في تكوين خلايا جديدة من الأحياء المجهرية، كما ينتج أيض ا الدبال الذي يتعرض هو الآخر للتحلل، أما في الظروف اللاهوائية فإن التمثيل الغذائي للكاربون العضوي ينتج عنه تراكم للمركبات الوسطية وإطلاق كميات كبيرة من غاز الميثان CH_4 ، وفي نفس الوقت تكون الطاقة الناتجة أقل وينتج عن ذلك تكوين أعداد أقل من الأحياء المجهرية.

إن تحلل المواد العضوية يكون بطيء في الظروف اللاهوائية مقارنة بالظروف الهوائية لذلك في الترب الغدقة والمشبعة بالماء التي تسود فيها ظروف لا هوائية تنخفض عمليات تحلل المادة العضوية، إضافة إلى أنها تكون مصحوبة بتراكم الأحماض العضوية مثل حامض الفورميك والخليك والبيوتيريك واللاكتيك فضلا عن الكحولات والغازات مثل CH_4 و CO_2 كنواتج رئيسية.

عند إضافة المواد العضوية إلى التربة فإنها تعمل على تنشيط بعض الكائنات المجهرية التي تشكل المجموعة الأولى من الكائنات المحللة لهذه المادة، تظهر بعد ذلك مجاميع أخرى من الأحياء المجهرية التي تنمو على حساب المركبات التي أنتجتها المجموعة الأولى من الكائنات المجهرية على حساب خلاياها الميتة وهي تختلف في نشاطها الكيميائي الحيوي عن المجموعة الأولى، وعليه يمكن تقسيم الكاربون العضوي الذي تتغذى عليه الأحياء المجهرية في التربة إلى:

1- المادة العضوية المضافة)مخلفات نباتية وحيوانية.(
2- النواتج الوسطية خلال مراحل التحلل.
3- خلايا الكائنات المجهرية الميتة والتي قامت بعمليتي التحلل لكل من المادة العضوية المضافة والوسطية الناتجة.

العوامل المؤثرة في تحلل المادة العضوية داخل التربة:

توجد عدة عوامل تؤثر على معدنة المواد العضوية في التربة، فسرعة أكسدة المادة العضوية تعتمد على تركيبها الكيميائي كما ويتحكم في سرعة تحللها عمر النبات ومحتواه من اللكنين وكذلك على الظروف الكيميائية والفيزيائية في الوسط البيئي، وأهم هذه العوامل:

1. درجة الحرارة Temperature.
2. معدل الإمداد بالاوكسجين O_2 Supply.
3. الرطوبة Humidity.
4. الرقم الهيدروجيني للتربة pH.
5. نسبة C:N في المادة العضوية C:N ratio.

UNIVERSITY OF ANBAR 1987 1408

1. درجة الحرارة Temperature:

تعتبر درجة الحرارة من أهم العوامل البيئية المحددة لسرعة التحلل وتمثيل المواد العضوية، فالتغير بدرجة الحرارة سوف يعمل على تغيير مقابل في الأحياء المجهرية النشطة في عمليات التحليل، وفي نفس الوقت يكون له تأثير مباشر على كل كائن حي مجهري داخل مجموعة الأحياء المجهرية في التربة، ففي درجة الحرارة المنخفضة تسير عمليات تحلل المادة العضوية بمعدلات بطيئة بالمقارنة مع درجات الحرارة المعتدلة، فبالرغم من أن المادة العضوية يحدث لها تحلل في درجات الحرارة المنخفضة عند 5°م أو أقل ولكن تزداد سرعة التحلل للمواد العضوية زيادة طردية كلما إتجهت الحرارة ناحية الدفئ ويصاحب ذلك سرعة إختفاء المكون للمادة العضوية لكل نوع من الأحياء المجهرية تبع ا للنشاط الكيميائي الذي تقوم به في درجات الحرارة المثلى ،ونظر ا لإختلاف الأحياء المجهرية نوعي ا وعددي ا من مكان لآخر وكذلك باختلاف المواد العضوية المضافة لذلك لا يمكن أن تكون هناك درجة حرارة واحدة تعتبر هي المثلى بصفة عامة بكل الأحوال. ويمكن إعتبار النطاق الحراري الأمثل لعمليات التحلل بين 30 - 40°م، والتغير في درجات الحرارة في حدود النطاق الحراري الأمثل لا يؤدي إلى تغير كبير جدا في معدل تحلل المادة العضوية بالرغم من كونه يمثل أعلى معدلات التحلل، ولكن المدى الحراري الأقل من هذا النطاق الأمثل أي في درجة حرارة واطئة 5 - 30°م فإن الإرتفاع في درجة الحرارة يصاحبه زيادة في تحلل المادة العضوية ،كما أن الزيادة في درجات الحرارة عن 40°م يقلل من سرعة التحلل إلا في حالات خاصة عندما تقتصر العملية على أنواع محبة للحرارة العالية.

2. الإمداد بالأوكسجين O_2 Supply:

إمداد التربة بالهواء يعتبر عاملا محددا لتحلل المادة العضوية حيوي ا والسبب في ذلك يعود إلى دور الأوكسجين في عمليات التحول الغذائي للأحياء المجهرية، فعند الظروف اللاهوائية يقتصر إنطلاق CO_2 الناشئ من تحلل المادة العضوية على الأحياء المجهرية اللاهوائية بينما تعمل زيادة التهوية على تنشيط عملية معدنة الكاربون لذلك فإن معدل تحلل المادة العضوية يقل كلما قل معدل الإمداد بالأوكسجين.

3. الرطوبة Humidity:

يعتبر توفر قدر كا ف من الرطوبة مهم ا لإستمرار عمليات التحلل فالكائنات الدقيقة تنمو بسرعة في المزارع السائلة بشرط إمدادها بالأوكسجين، أما في التربة فإن مستويات الرطوبة العالية تعمل على خفض النشاط الحيوي للأحياء المجهرية حيث إنها تؤدي إلى إعاقة حركة الهواء في التربة فيقل إمداد الأوكسجين، لذلك فإذا ما لوحظ تأثير منشط في إنتاج CO_2 نتيجة إضافة الماء فإن نقص الرطوبة في التربة يكون في هذه الحالة هو العامل المحدد للنشاط ،أما إذا أدت إضافة الماء إلى حدوث تأثير مثبط فيكون عادة بسبب نقص في كمية الأوكسجين بالنسبة للأحياء المجهرية .فعند مستوى الرطوبة المنخفض يكون لإضافة الماء تأثير كبير على تحلل المادة العضوية بينما يكون تأثير هذه الإضافة قليل إذا كانت رطوبة التربة بالقرب من المستوى الأمثل لها، إذ أن الزيادة عن الحد الأمثل تؤدي إلى إنخفاض عمليات التحلل ،فعندما تتراوح نسبة الرطوبة بين 60 – 80 % من السعة المائية القصوى في التربة فإن عمليات التحلل تكون في أقصى درجاتها عندما تكون الظروف البيئية الأخرى ملائمة.

4. الرقم الهيدروجيني للتربة Hp:

يعتبر Hp محلول التربة من العوامل المحددة لتحلل المادة العضوية فلكل نوع من البكتيريا والفطريات والأكتينوماسيتات درجة مثلى لنموها، كما أن لها نطاق معين من تركيز أيون الهيدروجين لا تنمو خارجه بالإضافة إلى ذلك فإن الأنزيمات التي ينتجها النوع الواحد من الأحياء المجهرية، تتأثر هي الأخرى بـ Hp الوسط، لذلك فإن قيمة

1987 1408 UNIVERSITY OF ANBAR

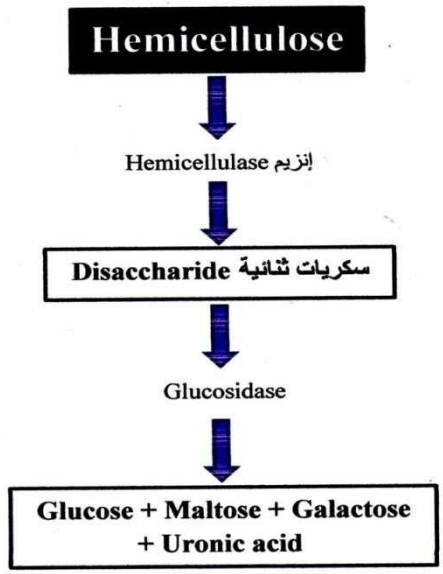
Hp التربة يعتبر عام لا محدد ا لأنواع الكائنات الحية المجهرية التي تشترك في إتمام دورة الكاربون، وعلى العموم تتحلل المواد العضوية في التربة وتكون بمعدلات أسرع في الوسط المتعادل أو القريب من التعادل ولذلك فإن هذا المستوى من تركيز أيون الهيدروجين يتيح المجال لإشتراك أنواع عديدة من محللات المواد العضوية ويكون للفطريات دور بارز في عمليات التحلل التي تتم في التربة.

5. نسبة الكاربون إلى النيتروجين C:N ratio :

يعتبر النيتروجين من العناصر الغذائية الأساسية لنمو الأحياء المجهرية وبالتالي لعمليات تحلل المادة العضوية. إن الأنسجة النباتية تختلف في نسبة C:N وتتراوح هذه النسبة بين 1:20 إلى 1:30 في المحاصيل البقولية والسماد الحيواني، وتصل إلى 1:100 في بعض البقايا النباتية. وعندما يتوفر النيتروجين في المادة العضوية بكميات كبيرة وبصورة مي سرة)جاهزة(فإن الأحياء المجهرية تستوفي حاجتها من هذا العنصر من المادة العضوية، ولا يكون هناك إحتياج لكميات إضافية للنيتروجين، أما إذا كانت المادة العضوية فقيرة في محتواها لهذا العنصر فإن التحلل يحدث ببطئ، وعند إضافة مركبات تحتوي عنصر النيتروجين)أسمدة كيميائية(فإنها تسرع من عملية التحلل. أما في حالة المادة العضوية الحاوية على مستويات كافية من النيتروجين كأنسجة النباتات البقولية فإنها تتحلل بمعدل سريع، وتنعدم إستجابة الأحياء المجهرية أو ت ظهر إستجابة بسيطة جد ا عند إضافة أسمدة كيميائية نيتروجينية.

يوجد العديد من الأحياء المجهرية الدقيقة التي لها القدرة على هضم وتحليل الكثير من المواد العضوية كالهايدروكاربونات والسليلوز والهيميسليلوز والسكريات المتعددة مثل النشا Starch بفعل إنزيماتها التي تكسر الأواصر الرابطة لهذه المركبات، حيث تحول هذه الأحياء تلك المركبات إلى مواد أبسط يسهل إمتصاصها وتحرير الطاقة منها. ومن الجدير بالذكر أن العديد من الأحياء الدقيقة لها قدرة على تحليل الهيميسليلوز أكبر من تحليل السليلوز، ومن أنشط الأجناس البكتيرية في تحليل الهيميسليلوز هي: *Bacillus*, , *PseudomonasAchromobacter* and *Vibrio* ، كما أن الكثير من أجناس الـ Actinomycetes لها القدرة على ذلك. أما أشهر أجناس الفطريات التي لها القدرة على التحليل فهي: *Alternaria*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium* and *Rhizopus*، وتبين المخططات التالية مسارات التفاعل والتحليل لبعض المواد العضوية.

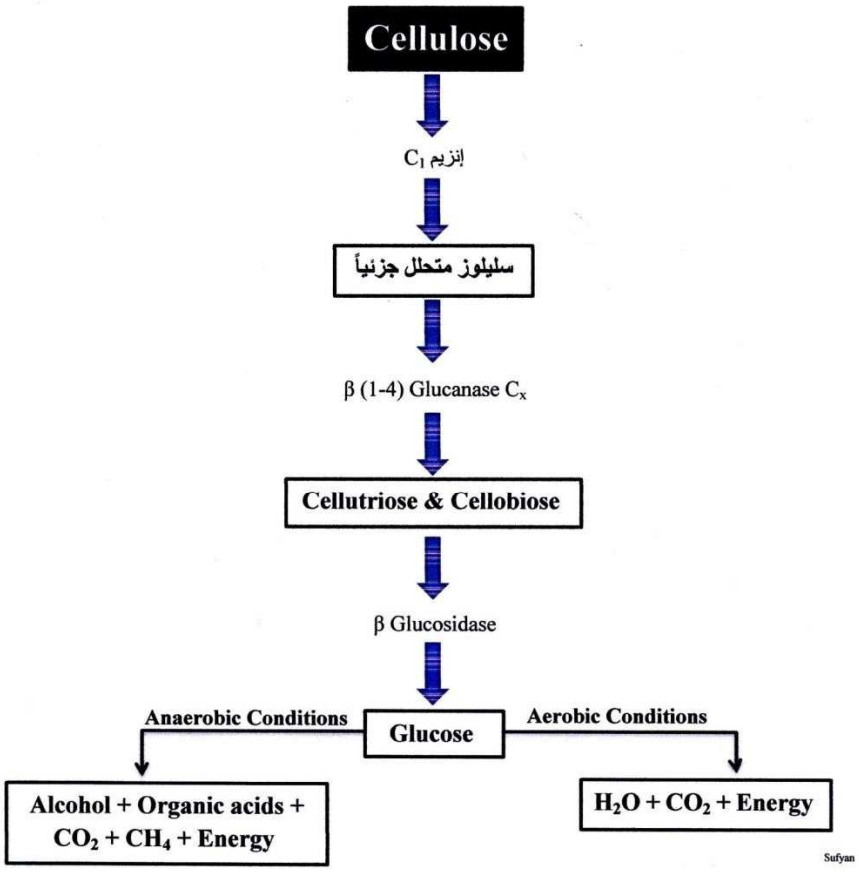
1987 1408
UNIVERSITY OF ANBAR



Sufyan

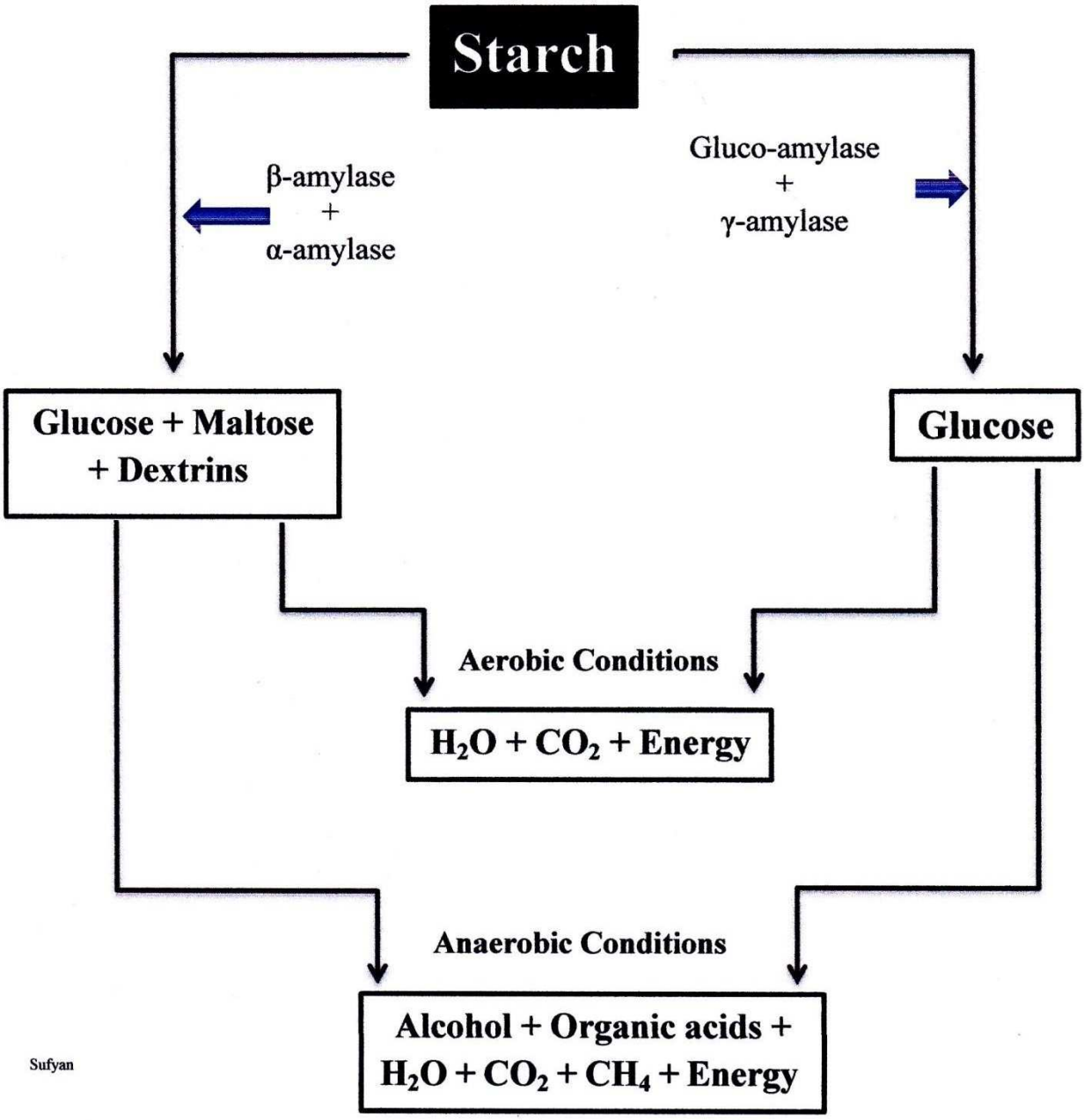
مخطط يبين تحلل الهيميسليلوز Hemicellulose بفعل الأحياء المجهرية

1987 1408
UNIVERSITY OF ANBAR



مخطط يبين تحلل السليلوز Cellulose بفعل الأحياء المجهرية

1987 1408
UNIVERSITY OF ANBAR



مخطط يبين تحلل النشا Starch Hydrolysis بفعل الأحياء المجهرية

1987 1408
UNIVERSITY OF ANBAR