9-3-3-3 التحويل إلى ميتانول:

يعتبر الميتانول CH_3OH أبسط المركبات الكحولية وهو قابل للاستخدام كوقود للسيارات ويمكن الحصول عليه من مزيج غازات التفكك H_2 و CO بنسب ملائمة وبمساعدة مواد منشطة.

$$\langle 5-9\rangle \qquad CO + 2H_2 \xrightarrow{\text{منشط}} CH_3OH + 91[MJ/Mol]$$

تتم العملية عند ضغط منخفض $[bar]60 \div 50$ أو متوسط $[bar]150 \div 100$ أو مرتفع $[bar]360 \div 230$. أما درجة الحرارة عند الضغط المنخفض والمتوسط فتكون $[°C]260 \div 230$ وعند الضغط المرتفع تكون $[°C]400 \div 300$ كمواد منشطة يستخدم النحاس والزنك والكروم وأكاسيدها.

بعد عملية تشكل الكحول تتم عملية التقطير للحصول على نقاوة تصل إلى 99.5% إذا أردنا مزج الكحول بالبنزين حتى نسبة 15%. لكن الميتانول له سلبيات بالنسبة للبنزين منها:

1- قيمة حرارية دنيا $[MJ/kg]$ 19.7 مقابل $[MJ/kg]$ 45.5 للبنزين.
2- لا يمكن إشعاله دون رفع درجة حرارته إلى ما فوق $[°C]$ 10.
3- سام ومؤكسد للمعادن.

إحدى الطرق المتبعة طحن الأخشاب برطوبة لا تزيد عن 10% وإضافة O_2 وبخار الماء عند ضغط $[bar]10$ و $[°C]950$ لتتم عملية التغويز والغاز الناتج وبمساعدة منشط يتم تحويله كما يلي:

$$\langle 6-9\rangle \qquad CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2$$

$$CO + 2H_2 \xrightarrow{\text{منشط}} CH_3OH + Energy$$

يمكن الحصول على $[ton]1$ ميتانول من $[ton]3.3$ خشب برطوبة 30% ويصل مردود النظام إلى 48%. حيث يعادل $[ton]1$ من الميتانول حوالي $[Litter]650$ من البنزين. وبعد أخذ الكثافة بالاعتبار فإن $[Litter]1$ من الميتانول يعادل $[Litter]0.82$ من البنزين. يمكن تحويل الميتانول إلى بنزين بمساعدة منشط الزيوليت وبمردود يصل إلى 92.4% وفق المعادلة:

$$\langle 7-9\rangle \qquad nCH_3OH \longrightarrow C_nH_{2n} + 2H_2O$$

وبعملية تقطير سهلة يتم الحصول على البنزين. المنتج يتألف من 88% بنزين و 12% غاز سائل وللمنتج مواصفات البنزين الممتاز (أو أوكتان 97) ويمكن استعماله مباشرة.

9-4 طرق التحويل البيولوجي:

9-4-1 مدخل:

بواسطة الطرق الترموكيميائية كالحرق والتغوير والتمييع يتم تفكيك الكتلة الحية بمساعدة الطاقة الحرارية. على العكس من ذلك فإن العمليتين البيوكيماوية أو البيولوجية تتم عند درجات المنخفضة بمساعدة العضويات الدقيقة. ويتم الحديث هنا عن التخمير أو التعفين. **من الناحية الطاقية توجد طريقتين رئيسيتين:**

- إنتاج البيوغاز أو الغاز الحيوي.
- إنتاج الإيتانول.

تتم العمليتين السابقتين في جو معزول عن الأوكسجين وتسمى عملية التخمير لا هوائية (anaerobic) حيث تتم العملية في وسط مائي (معلق عضوي في وسط مائي).

تتم العملية من خلال مراحل متعددة وينتج خلال هذه المراحل مركبات كثيرة ومتنوعة وزيادة نسبة الماء تقلل من سرعة التفاعلات. أما التخمير بإضافة أو تمرير الهواء فتسمى تخمير هوائي (aerobic) وينتج طاقة حرارية مباشرة يمكن استثمارها في حالة أكوام القمامة عن طريق وشائع تبادل حراري داخلها.

لا تحتاج الكتلة الحية إلى معالجة مسبقة قبل إدخالها إلى المخمر في حالة إنتاج البيوغاز. والمخمر هو عبارة عن حجرة أو خزان تجري داخله التفاعلات البيولوجية.

المنتج هو عبارة عن غاز ثلثيه ميتان (CH_4) وثلثه (CO_2) ونسمي هذا الغاز غاز حيوي أو بيوغاز قيمته الحرارية حوالي $21.5[MJ/m^3]$ بينما تتراوح القيمة الحرارية للغاز الطبيعي بين $35 \div 40[MJ/m^3]$. أما المواد الصلبة المتبقية من عملية التخمير فتشكل سماداً ذو قيم عالية.

إن عملية إنتاج الطاقة من التخمير اللاهوائي للمواد العضوية لاسيما مخلفات الحظائر تم اكتشافها منذ القرن السابع عشر، كما أجريت تجارب كثيرة وأبحاث على هذه الطريقة قبيل وبعد الحرب العالمية الثانية. لكن الأسعار المناسبة لمصادر الطاقة الأحفورية وسهولة استخدامها والحصول عليها أدى إلى

تراجع نشاطات البحث في هذا المجال. واستخدمت هذه التقانة بشكل رئيسي في عمليات معالجة مياه الصرف الصحي.

تقوم العديد من الدول حالياً ببناء أنظمة تخمير لاهوائي لإنتاج الغاز الحيوي في المزارع الريفية كألمانيا والهند والصين والعديد من دول العالم الثالث. ويقدر عدد الوحدات العاملة حالياً بمئات آلاف الوحدات الصغيرة.

ورغم تراجع انتشار هذه التقانات مع انخفاض أسعار البترول يتوقع لها قفزة نوعية مع الارتفاع الكبير في أسعار النفط حالياً. في عملية إنتاج الإيتانول تستخدم المواد العضوية ذات المحتوى العالي من السكر أو الكربوهيدرات (النشاء والسيللوز) في عملية التخمير للحصول على الكحول (إيتانول) C_2H_5OH بالإضافة إلى انبعاث CO_2، ويتم الحصول على الكحول بعد التخمير بإجراء عملية التقطير. ويتبع في ذلك نفس عملية الحصول على الكحول لأغراض الشرب. ويمكن أن يشكل الإيتانول بديلاً للبنزين في محركات الاحتراق الداخلي. تقوم بعض الدول حالياً بإضافة ما نسبته حوالي 20% من الإيتانول إلى البنزين في إطار برامج لاستخدامه سعياً لاستبدال البنزين به.

أكبر البرامج في هذا الإطار تتبعه البرازيل ومن سلبيات هذا البرنامج مضاربته وتأثيره على إنتاج السلع الغذائية لاسيما السكر والمنتجات الزراعية الأخرى. لهذا السبب يعتبر برنامج كهذا غير مرغوب لدى العديد من الدول ولا تنصح به المؤسسات الدولية.

9-4-2 إنتاج الغاز الحيوي:

9-4-2-1 الأسس التقنية للطريقة:

في عملية التخمير اللاهوائي (anaerobic) (التخمر الميتاني) تقوم مجموعات متعددة ومتنوعة من الجراثيم بالعمل معاً وبعمليات متبادلة أحياناً ومعقدة لتحويل المادة العضوية وبغياب الأوكسجين إلى غاز حيوي هو عبارة عن مزيج من الميتان وثاني أوكسيد الكربون كما ذكرنا:

$$\frac{2}{3}CH_4 + \frac{1}{3}CO_2 \qquad \langle 8-9 \rangle$$

ويعتبر الميتان الناتج ذو قيمة أعلى بكثير (من الناحية الطاقية) من الطاقة الحرارية المنتجة من عملية التخمر الهوائي (aerobic).

إن تشكيل الميتان من المخلفات العضوية يتم على ثلاثة مراحل. تمثل المرحلة الأولى والثانية خطوات تحضيرية لتشكيل وانبعاث الميتان الذي يتم في المرحلة الثالثة فقط. في كل مرحلة من مراحل التخمر تعمل مجموعة مختلفة من البكتيريا التي تتكاثر أثناء عملية التخمر. أما المراحل الثلاث فهي:

1. مرحلة تشكيل الحموض أو الهدرجة (Hydrolyse).
2. مرحلة تفكك الحموض.
3. مرحلة تشكل الميتان.

التفاعلات الحاصلة خلال المراحل المختلفة معقدة جداً ويمكن وصفها فقط على شكل تخطيطي.

1- مرحلة تشكل الحموض (Hydrolyse):

في هذه المرحلة يتم تفكيك المركبات العضوية المؤلفة من بروتينات ودهون وكربوهيدرات بوجود ومساعدة الماء. حيث تتم عملية تفكيك الجزيئات العضوية المعقدة بإدخال جزيئات الماء إليها لتصبح جزيئات بسيطة. يتم تسريع عملية التفاعل بواسطة الأنزيمات التي تفرزها البكتيريا.

وتنتج المركبات التالية:

الدهـون ⟵ أحماض دهنية.

البروتينـات ⟵ أحماض أمينية.

الكربوهيدرات ⟵ سـكر.

أما الجزيئات العضوية البسيطة المتشكلة فتتابع بكتريا التخمر تفكيكها إلى منتجات مرحلية متعددة أهمها:

- H_2, H_2O, CO_2, NH_4
- حمض الخل (CH_3COOH)
- كحول وأحماض عضوية أخرى.

بعضهم يرى أن المرحلة الأولى يمكن تقسيمها إلى مرحلتين هدرجة وإماهة كمرحلة أولى، ثم تخمير كمرحلة ثانية.

2- المرحلة الثانية (تفكيك الأحماض):

في هذه المرحلة يتم تفكيك الكحول والأحماض العضوية بمساعدة جراثيم الخل (Bac. Acetogene) إلى المنتجات التالية:

- H_2O , CO_2 , H_2
- حمض الخل (CH_3COOH)

ومُنتج التخمر هو حمض الخل.

3- المرحلة الثالثة (مرحلة تشكيل الميتان):

في هذه المرحلة تعمل جراثيم التخمر الميتاني على تفكيك حمض الخل الناتج بعد المرحلتين الأولى والثانية وإنتاج الميتان.

تسير العمليات الثلاث للتخمر (اللاهوائي) جنباً إلى جنب بحيث تخدم منتجات التفكك من مرحلة ما جراثيم المرحلة التي تليها كمادة غذائية لها. البكتريا لكل مرحلة عبارة عن مجموعات متنوّعة تستطيع الاستفادة من المركبات العضوية المتاحة لها لتتغذى عليها مُنتجة مركبات جديدة. وبذلك تتعاون المجموعات من المراحل المختلفة للحفاظ على استقرار تركيبي معين، ومنع التأثيرات الخارجية لحد ما حتى تتم عملية التخمر بشكل كامل. يحتوي الغاز الحيوي المنتج على كميات ضئيلة من الهيدروجين والأمونياك وكبريت الهيدروجين H_2S.

9-4-2-2 العوامل المؤثرة على عملية التخمر اللاهوائي:

إن الحصول على أكبر كمية من الغاز الحيوي يتعلق بشكل كبير بالعوامل التالية:

1. نوع البقايا العضوية.
2. نسبة المادة الجافة في المواد العضوية.
3. درجة الحرارة.
4. زمن التخمير (فترة بقاء المادة العضوية في المخمر).
5. درجة الحموضة (قيمة PH).
6. تغذية المخمر.

1.نوع المادة العضوية:

المواد الأساسية المستخدمة لإنتاج الغاز الحيوي هي مخلفات الحظائر، النفايات النباتية ومخلفات الصناعات الغذائية وحمأة محطات معالجة مياه الصرف الصحي، وكلها تحتوي مواداً قابلة للتفكك من بروتينات ودهون وكربوهيدرات (سكر، نشاء، سيليلوز) من هذه المركبات الثلاثة يمكننا الحصول على كميات متفاوتة من الغاز الحيوي حسب الجدول (9-5):

الجدول (9-5)

نوع المركبة العضوية	كمية الغاز الناتج لواحد كيلو غرام من المادة الجافة [Litter]	CH_4[%]	CO_2[%]
بروتين	700	70	30
دهون	1200	67	33
كربوهيدرات	800	50	50

يشكل بول الحيوانات مادة ممتازة لإنتاج الغاز. بينما يرافق إنتاج الغاز من الروث الصلب الممزوج بالقش وبقايا العلف صعوبات تقنية ملحوظة، تعتبر النواتج الأخيرة المتبقية من عملية التخمير ذات أهمية خاصة للزراعة وتعتبر سماداً متكاملاً ممتازاً.

يبين الجدول (9-6) كميات وخواص مخلفات المزارع المختلفة حسب نوع الحيوان:

الجدول (9-6)

نوع الحيوان ← / المواصفة ↓	بقرة حلوب	عجول تسمين كبيرة	عجول تسمين متوسطة	أغنام	خيول	إنسان	دجاج بيض	دجاج تسمين	إوز كبير
وزن الحيوان [kg]	450	450	200	30	380	68	2.3	1.5	6.8
الطرح اليومي [kg/d]	50	40	15	2.3	23	1.4	0.11	0.05	0.22
نسبة الروث %	70	70	70	66	70	20	-	-	-
نسبة البول %	30	30	30	34	30	80	-	-	-
كمية المادة العضوية الجافة $[kg_{odm}/d]$	5	4	1.5	0.3	4	0.1	0.036	0.03	0.07

نوع الحيوان ← / المواصفة ↓	بقرة حلوب	عجول تسمين كبيرة	عجول تسمين متوسطة	أغنام	خيول	إنسان	دجاج بيض	دجاج تسمين	إوز كبير
إنتاجية الغاز $[L_{gas}/d]$	1500	1200	450	105	1200	40	14.4	12	28
إنتاجية الغاز $[L_{gas}/kg_{odm}]$	300	300	300	350	300	400	400	400	400
نسبة الميتان %	60	60	60	65	60	70	70	70	70
القيمة الحرارية $[MJ/m^3_{gas}]$	20	20	20	21	20	23	23	23	23
نسبة المخلفات إلى الوزن الحي %	11	8.9	7.5	7.5	6	2	5	3.3	3.3

يلاحظ أن الإنتاج الممكن من الغاز الحيوي من $1[kg]$ من الروث الجاف أقل بكثير من الإنتاجية لـ $1[kg]$ من أحد المركبات الأساسية المنتجة للغاز (بروتين – دهون – سكريات) وذلك لأن مخلفات الحيوانات تحتوي على مركبات أخرى لا تتفكك وتبلغ نسبة المادة العضوية القابلة للتفكك في مخلفات الأبقار مثلاً حوالي 51% وفي مخلفات الطيور تبلغ 59% أما في مخلفات الخنزير فتبلغ 61%.

يعطي تخمير المخلفات الزراعية إنتاجية من الغاز منسوبة إلى $1[kg]$ من المادة العضوية الجافة أكبر من روث الحيوانات. والجدول (9-7) يعطي تصور عن هذه الإنتاجية:

الجدول (9-7)

المادة	إنتاجية الغاز الحيوي $[l/kg_{Odm}]$	فترة التخمير المطلوبة بالأيام
قش القمح	367	78
الجزء الخفري للشمندر السكري	501	14
الجزء الخفري للبطاطا	606	53
الجزء الخفري للذرة	514	52
الأعشاب	557	25

لا يستخدم الخشب في عملية إنتاج البيوغاز أما القش فبكميات محدودة. مخلفات الصناعات الغذائية تعتبر جيدة جداً لإنتاج الغاز الحيوي كبقايا المسالخ وبقايا صناعة المشروبات والكونسروة.

في محطات معالجة مياه الصرف الصحي حيث ينتج الغاز بشكل عرضي، وتجري عملية التخمير لتنظيف المياه من حيث المبدأ، يمكن استثمار الغاز الحيوي الناتج وهذا يحدث في حالات كثيرة.

توجد سلسلة من المواد المضادة للبكتيريا والتي تعرقل عملية التخمير وأهمها:

- المعادن الثقيلة في حمأة محطات معالجة مياه الصرف الصحي.
- مواد تعقيم الحظائر.
- المضادات الحيوية المستخدمة في معالجة الحيوانات.

ويجب الانتباه إلى ضرورة خلو مخمرات البيوغاز من هذه المواد.

2.محتوى المادة العضوية من الكتلة الجافة:

إن التركيب المثالي للخليط في المخمر هو بين $10\% \div 3$ مادة جافة ويتم الوصول إلى هذه النسبة بإضافة الماء.

انخفاض تركيز المادة الجافة العضوية Odm كثيراً ينعكس على حجم المخمر وعلى الكلفة التأسيسية.

عند التركيز العالي للمادة العضوية الجافة يزداد إنتاج البيوغاز. ولكن يحذر في هذه الحالة من نشوء مواد سامة قاتلة للعضويات الدقيقة بسبب تراكم وزيادة نسبة بعض مركبات التفكك.

3.درجة الحرارة:

توجد مجموعتان من البكتيريا المشكلة للميتان لكل منها درجات حرارة مناسبة وضرورية للنمو وهي:

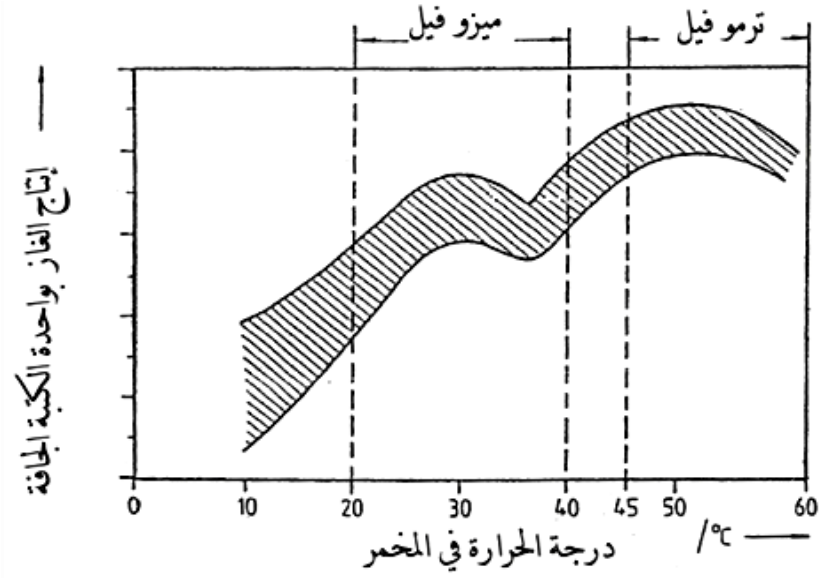
- بكتيريا ميزوفيلية: تنمو بدرجات حرارة تتراوح بين $40[°C] \div 20$.
- بكتيريا ترموفيلية: تنمو بدرجات حرارة تتراوح بين $60[°C] \div 45$.

وكل مجموعة تحتاج إلى ثلاثة أنواع من البكتيريا (بكتيريا التخمر وبكتيريا الخل وبكتيريا إنتاج الميتان).

يجب المحافظة على درجة حرارة ثابتة ما أمكن داخل المخمر (المفاعل البيولوجي) لأن البكتيريا تكون حساسة جداً لتغير درجات الحرارة. إن تعبئة المخمر بمواد باردة أو وجود طبقات بدرجات حرارة مختلفة أو عدم تأمين عزل كافي للمخمر يمكن أن ينعكس كل ذلك سلباً على أداء المخمر وعلى إنتاج الغاز.

تعتبر الميكروبات الترموفيلية أكثر حساسية لتغيرات الحرارة ومع ارتفاع درجة الحرارة يصبح إنتاج الغاز أفضل. درجة الحرارة الأكثر مناسبة للمجال الميزفيلي هي [°C]30 وللمجال الترموفيلي هي [°C]50.

من سلبيات المجال الترموفيلي حاجة المخمر لاستهلاك كمية من الغاز للحفاظ على درجة الحرارة المطلوبة. ويمكن تفادي ذلك جزئياً بتأمين عزل جيد للمخمر.



شكل (9–9) تأثير درجات الحرارة على إنتاج الغاز

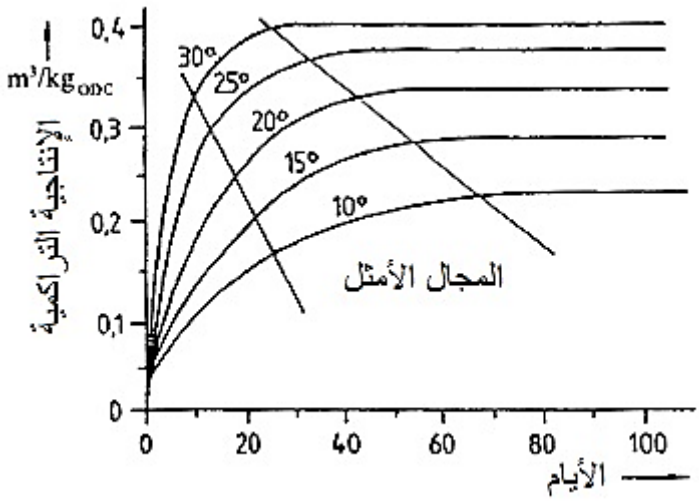
4.زمن التخمير (فترة بقاء المادة العضوية في المخمر):

فترة التخمير الأكثر مناسبة تتعلق بشكل وثيق بدرجة الحرارة. يبين الشكل (9–10) هذه العلاقة للبكتيريا الميزوفيلية حيث يزداد إنتاج الغاز بشكل مضطرب في البداية ومع مرور الوقت تصل إلى قيمة شبه ثابتة (القيمة العظمى). وبعد فترة يصبح من غير المجدي انتظار إنتاج مزيد من الغاز.

للبكتيريا الميزوفيلية بدرجات حرارة [°C]30 فإن عدد أيام التخمير الأنسب يتراوح بين 25 ÷ 20 يوماً أما البكتيريا الترموفيلية التي لم تلاحظ في الشكل (9–10) تحتاج لإنهاء التخمير من

10 ÷ 3 أيام فقط أي أنها تنتج كمية كبيرة من الغاز في وقت قصير. بقايا التخمير وبعد فترة تخمير طويل نسبياً تصبح خالية من الجراثيم الممرضة وبلا رائحة وتعتبر سماد عضوي ممتاز.

يبين الشكل (9–10) أنّ درجة الحرارة السائدة في المخمر هي التي تحدد فترة التخمير المناسبة، فعند درجة حرارة [°C]30 تكفي 20 يوماً وأي فترة تخمير إضافية تكون دون فائدة تُذكر، بينما تكون فترة التخمير المناسبة حوالي 50 يوماً أو أكثر عند درجة حرارة [°C]15.



شكل (9–10) الإنتاجية التراكمية للغاز الحيوي لكل [kg]1 من المركبات العضوية الجافة كتابع لدرجة الحرارة و فترة التخمير

5.درجة الحموضة (قيمة PH):

الإنتاج الأمثل للغاز يكون عند درجة حموضة PH في المجال 7.2 ÷ 6.5.

6.تغذية المخمر:

تعمل أنظمة إنتاج الغاز الحيوي بشكل مستمر. ولذلك يجب تغذيتها يومياً بكمية من الكتلة العضوية كما يجب انتزاع كمية مقابلة من نواتج التخمير.

إن من المؤشرات الهامة للأنظمة العاملة بشكل مستمر هو درجة تحميل المخمر فراغياً R_b. ودرجة التحميل تعني كمية الكتلة العضوية الجافة اليومية التي يمكن إضافتها يومياً إلى كل $1[m^3]$ من الحجم الفعال للمخمر.

$$R_b = \frac{\dot{m}_{Biomass} . C_{Odm}}{V_R} \quad \left[\frac{kg/day}{m^3}\right] \qquad \langle 9-9 \rangle$$

$\dot{m}_{Biomass}$: الكتلة العضوية المضافة يومياً $[kg/day]$

C_{Odm} : تركيز المادة الجافة في كتلة التغذية $[kg/kg]$

V_R : الحجم الفعال للمخمر $[m^3]$ ، إذا كان المخمر ممتلئ عندها $V_R = V_{biomass}$.

$V_{biomass}$: حجم المواد المتخمرة في المخمر.

أما C_{Odm} فهي:

$$C_{Odm} = \frac{m_{Odm}}{m_{Biomass}} = \frac{V_{Odm} . \rho_{Odm}}{V_{Biomass} . \rho_{Biomass}} \qquad \langle 10-9 \rangle$$

ρ : الكثافة $[kg/m^3]$

m : الكتلة $[kg]$

V : الحجم $[m^3]$.

Odm : الكتلة العضوية الجافة.

فترة بقاء المادة العضوية في المخمر t_{vw} بالأيام يمكن صياغتها على الشكل التالي:

$$t_{vw} = \frac{m_{biomass}}{\dot{m}_{biomass}} \qquad \langle 11-9 \rangle$$

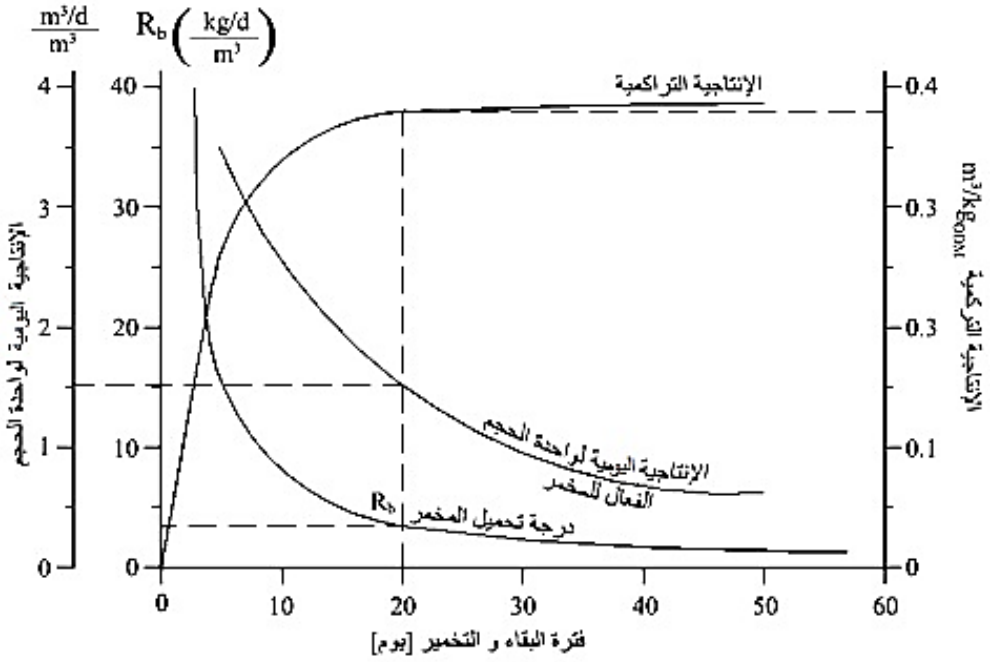
بالتعويض من $\langle 9-9 \rangle$ واعتبار $V_R = V_{biomass}$ ينتج:

$$\Longrightarrow t_{vw} = \frac{\rho_{Biomass} * V_R}{R_b * V_R / C_{Odm}}$$

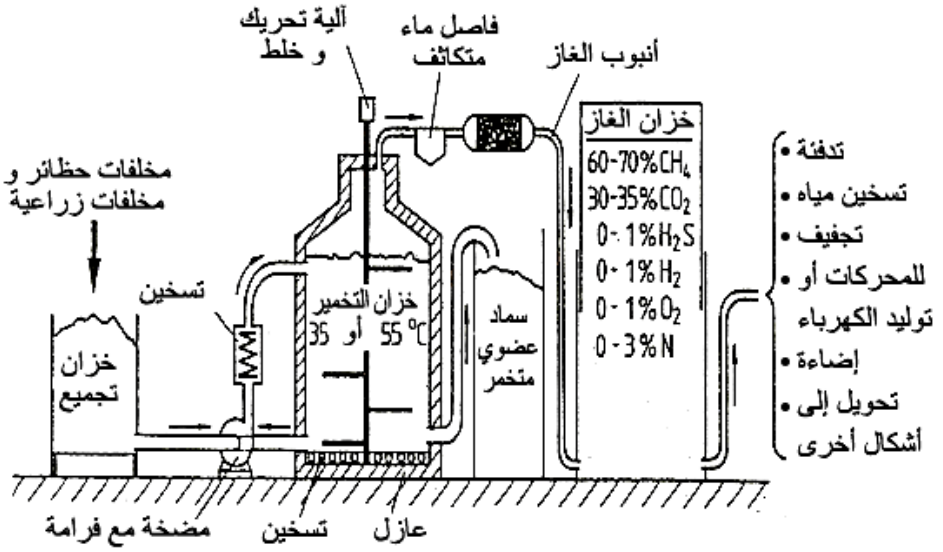
أو:

$$t_{vw} = \rho_{Biomass} . \frac{C_{Odm}}{R_b} \qquad \langle 12-9 \rangle$$

نلاحظ أنه مع انخفاض درجة تحميل المخمر R_b تزداد الفترة اللازمة للتخمر. يبين الشكل (9–11) العلاقة بين مؤشرات وبارامترات عملية التخمير.



شكل (9–11) العلاقة بين مؤشرات وبارامترات عملية التخمير



شكل (9–12) مخطط وحدة إنتاج غاز حيوي بأداء مستمر

9–4–2–3 إنشاء وحدات إنتاج الغاز الحيوي:

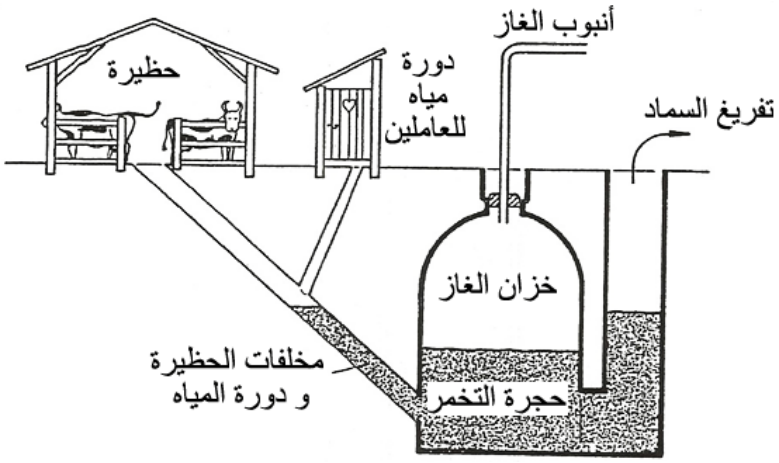
يبين الشكل (9–12) رسم تخطيطي لبنية وحدة إنتاج غاز حيوي ذات أداء مستمر.

تختلف وحدات إنتاج الغاز الحيوي الموجودة في التطبيق من حيث طريقة التنفيذ وبالتالي من حيث العناصر والبنية ولكنها تشترك بالمبدأ وبالعناصر الأساسية المؤلفة من المخمر وخزان الغاز وخزان التغذية أو المجمع.

في المخطط المبين في الشكل (9–12) يتم تجميع مخلفات الحظائر والمخلفات الزراعية في خزان تجميع أولي، وبواسطة مضخة مزودة بفرّامة يتم تغذية المخمر، وللحفاظ على درجة حرارة مناسبة يمكن تزويد الدارة بمبادل حراري ويجب عزل المخمر. ولزيادة فاعلية التخمير ومنع حصول تسربات تؤذي الإنسان يزود المخمر بآلية عزل المخمر. ولزيادة فاعلية التخمير ومنع حصول ترسبات تؤدي إلى الانسداد يزود المخمر بآلية خلط وتحريك.

تخرج بقايا التخمير الصلبة والسائلة والتي تمثل سماداً عضوياً جيداً من أسفل المخمر إلى خزان تجميع ويتم تفريغه حسب الحاجة. أما الغاز المنتج فينطلق من أعلى المخمر إلى خزان الغاز المناسب. يساعد فاصل ماء التكاثف والفلتر على الحصول على نوعية أفضل من الغاز.

يبين الشكل (9-13) مخططاً لوحدة إنتاج غاز حيوي لمنزل ريفي أو مزرعة صغيرة ذات بنية بسيطة جداً، حيث يخرج السماد مع الماء من أسفل حجرة التخمير، بينما ينطلق الغاز إلى القسم العلوي من المخمر الذي يمثل خزان غاز، بينما يمثل الجزء السفلي من المخمر حجرة التخمير. ويمكن الاستفادة من الغاز المنطلق للاستخدام المنزلي. أما نواتج التخمر الصلبة والسائلة فتستخدم في الزراعة للري وكسماد جيد.



شكل (9-13) وحدة إنتاج غاز حيوي لمنزل ريفي مع حظيرة

9-4-3-إنتاج الإيتانول:

9-4-3-1-المواد الأولية والطرق:

إن مبدأ الحصول على الإيتانول هو نفس مبدأ إنتاج المشروبات الكحولية وهو تخمير السكر أو المحاليل السكرية للنباتات (التي تحتوي السكر) تخميراً لاهوائيا وذلك بمساعدة العضويات اللاهوائية الدقيقة في شكل خمائر للحصول على الكحول C_2H_5OH:

يوجد ثلاثة أنواع من المواد العضوية المناسبة لإنتاج الإيتانول:

1. المواد العضوية السكرية (الحاوية على السكر).
2. المواد العضوية النشوية (الحاوية على النشاء).

3. المواد العضوية السيللوزية (الحاوية على السيللوز).

باختصار يمكن إنتاج الكحول من المركبات الكربوهيدراتية كما في الجدول (9-8):

الجدول (9-8)

المواد العضوية السكرية	المواد العضوية النشوية	المواد العضوية السيللوزية
قصب السكر	ذره	الخشب
الشمندر السكري	قمح	القش
بعض الأعلاف	بطاطا	

أما إنتاجية المحاصيل النباتية المختلفة من الإيثانول فيبينها الجدول (9-9):

الجدول (9-9)

نوع الكتلة العضوية	المحصول السنوي t/ha	المحتوى من السكر والنشاء %	إنتاجية الكحول %	إنتاجية وحدة المساحة من الإيثانول t/ha	إنتاجية وحدة المساحة من الإيثانول l/ha
شمندر سكري	51÷34	15	8	2.7÷4.1	3375÷5125
قمح	6.3÷3.6	60	32	1.2÷2.1	1520÷2625
بطاطا	33÷20	14	7	1.4÷2.3	1750÷2890
قصب السكر	70÷56	12.5	6	3.1÷4.9	3875÷6125
الخشب	6÷5	-	15	0.75÷0.9	940÷1125

إن إنتاج الإيثانول من النشاء والسيللوز يختلف عن إنتاجه من السكر، حيث يحتاج السيللوز والنشاء إلى عمليات تحضير أولية كي تتفكك إلى سكر. أما تخمر السكر وتحوله إلى كحول فيتم بشكل مبسط من المعادلة التالية:

$$\langle 13-9 \rangle \qquad C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$$

سكر $\longrightarrow$ ايثانول + ثاني أكسيد الكربون

$$100\text{kg} \longrightarrow 51\text{kg} + 49\ \text{kg}$$

يوجد ثلاث أنواع من السكر:

- سكر العنب (الغلوكوز) $(C_6H_{12}O_6)$
- سكر الفواكه (فركتوز) $(C\ H\ \ O\ )$
- سكر القصب أو الشمندر (سكروز) $(C_{12}H_{22}O_{11})$

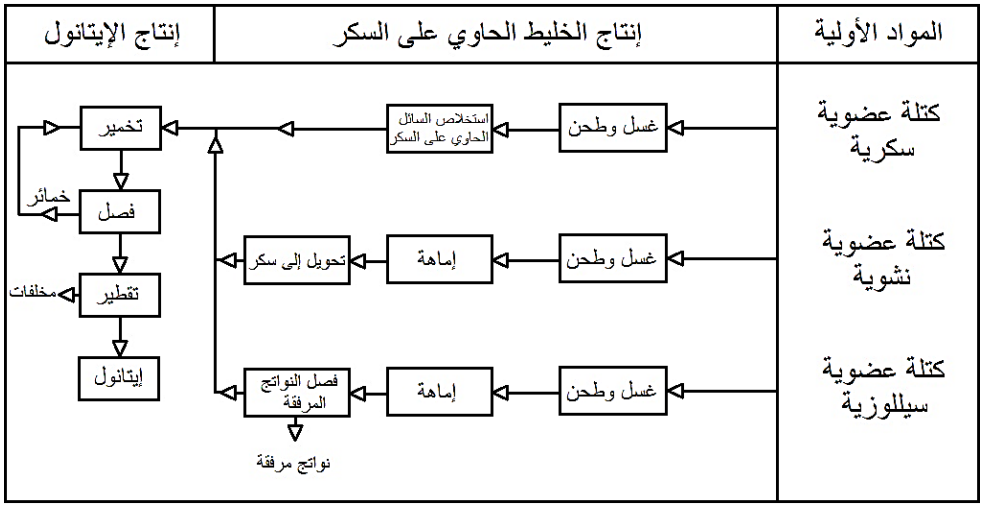
أما النشاء ذو الصيغة $(C_6H_{10}O_5)$ يتم تحويلها بالإماهة إلى سكر عنب، ثم تخمر إلى كحول. وتحصل الإماهة وفق العلاقة:

$$\langle 14-9\rangle \qquad C_6H_{10}O_5 + H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6$$

سكر عنب $\longrightarrow$ ماء $+$ نشاء

يبين الشكل (9-14) مخططاً للخطوات الرئيسة للعملية الإنتاجية انطلاقاً من مركبات سكرية ونشوية وسيللوزية. يتم استخلاص السائل الحاوي على السكر من النباتات السكرية لينتج السكر لاحقاً وهي طريقة متبعة على نطاق واسع منذ زمن بعيد في معامل السكر. أما النباتات النشوية فيستخلص منها النشاء. وبما أن النشاء لا يذوب في الماء البارد، يضاف الماء الساخن وتحصل عملية الإماهة وتتفكك جزيئات النشاء ونحصل في النهاية على سكر العنب. يخمر السكر بإضافة الخمائر (في مخمرات مناسبة) وفي النهاية يتم الحصول على الإيتانول كمنتج نهائي من عملية تقطير.

يرافق إنتاج الإيتانول من السيللوز صعوبات كثيرة، وغالباً تتم الإماهة بإضافة الأحماض المناسبة، حيث يتم تحويل حوالي 40% من الكتلة العضوية الجافة إلى سكر يخضع بعدها للتخمير. أما النواتج المتبقية (حوالي 60%) فيتم فصلها واستخدامها في الصناعات الكيميائية. تحدث عملية التخمر في مخمرات خاصة (عملية تخمر لاهوائي) ويستفاد من الخمائر المفصولة من الخليط بعد التخمير في تأمين عملية تخمير مستمرة وبالتالي عملية إنتاج مستمرة وذلك عن طريق إعادتها إلى المخمر من جديد.



الشكل (9–14) مخطط مبسط لإنتاج الإيتانول من مواد كربوهيدراتية مختلفة

9–4–3–2–عملية التخمر:

العوامل التي تحدد جودة عملية التخمر:

1. محتوى السكر.
2. درجة حرارة التخمر.
3. درجة الحموضة PH.
4. تركيز الخمائر.
5. زمن التخمر.

ويجب اختيار هذه العملية لتأمين بيئة مثالية للخمائر.

1– محتوى السكر:

يجبذ أن يكون تركيز السكر بين 18% ÷ 10. وأي تركيز أعلى يعيق عملية التخمر.

2– درجة حرارة التخمر:

درجات الحرارة المناسبة تقع بين [°C]40 ÷ 30. ونظراً لطرح الحرارة أثناء عملية التخمير يتم عادة تبريد وعاء التخمير. عند درجات حرارة أعلى تتشكل الرغوة وتفقد كمية من الكحول.

3- درجة الحموضة PH:

تعيش الخمائر في وسط تتراوح درجة PH فيه بين 6 ÷ 3 أما درجة PH الأكثر ملائمة فهي 4 أو أكثر بقليل.

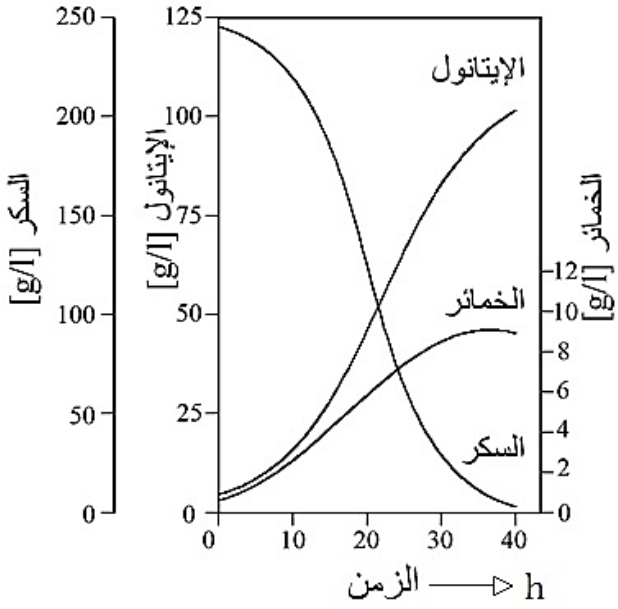
4- تركيز الخمائر:

إن التركيز المستقر للخمائر في أنظمة التخمير العاملة بشكل مستمر يتراوح بين 40 ÷ 60 [g/l]. تتكاثر الخمائر في المخمر بشكل هوائي، وبالتالي لتأمين توفر الخمائر بكمية مناسبة يجب حقن المخمر بالهواء بين الفينة والأخرى.

5- زمن التخمير:

تسعى عمليات الإنتاج الحديثة إلى التقليل من زمن التخمير حيث يسود زمن تخمير في المخمرات العادية يتراوح بين 48 ÷ 36 ساعة، بينما في الطرق الحديثة يكفي من 5 ÷ 1 ساعات.

يبين الشكل (9-14) سير عملية التخمير خلال زمن التخمر حيث تتزايد كمية الكحول في البداية بشكل سريع لتبدأ بالاستقرار في عملية التخمر العادي بعد 40 ÷ 30 ساعة. وتقل نسبة السكر أيضاً بنفس السرعة. أما كمية الخمائر فتزداد بسرعة في البداية لتبلغ حد أعظمي لتعود لتنخفض مع طول عملية التخمير.



شكل (9–15) سير عملية التخمير في مخمر مستمر (عادي) لإنتاج الإيتان