



Metan Üreten Mikroorganizmalar

D. IŞIK* G. ÖKMEN
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kötekli, Muğla, Türkiye

*Sorumlu yazar:
E-posta: dilek.isikk@gmail.com

Geliş Tarihi : 27 Kasım 2012
Kabul Tarihi : 31 Aralık 2012

Özet

Dünya nüfusu hızla artmaktadır. Elektrik ve termal enerji için dünya ekonomisinin talebi yenilenemeyen kaynaklardan % 88' den fazlasını kapsamaktadır, çoğu petrol ve doğal gaz. Tahminlere göre, enerji üretimi için kullanılan yakıtlar için talep daha da artacaktır. Metan, doğal gazın ana bileşenidir (%95- 98). Metan, hem doğal ortamda hem de çeşitli insan faaliyetleri ile de oluşturulmaktadır. Organik materyalin parçalanmasından üretilmiş metan kolaylıkla üretilebilir ve bol elde edilir. Fosil yakıtların aksine, milyonlarca yıldır yüksek ısı ve basınca tabi tutulduktan sonra yeraltında şekillenir. Metan yenilenebilir enerji kaynağıdır. Doğal gaza benzer, metan yüksek enerji içeriğine sahiptir ve kömür veya petrolden daha temiz yanıcıdır. Metanojenik habitatların örnekleri tatlı su ortamları (sedimentler, sulak alanlar, bataklıklar, çeltik tarlaları, vb), yüksek hayvanların ve böceklerin sindirim sistemleri, düzenli depolama alanları ve anoksik biyoreaktörlerdir. Metanojenik ortamlarda organik madde, fermentasyon yapan asetojenik ve metan bakterilerinin birlikleri tarafından parçalanmaktadır. Metanojenik bakteriler anaerobik besin zincirlerinin sonunda zorunlu anaeroblar, yaygın karbon ve enerji kaynağı olarak H₂ ile CO₂ veya formate kullanırlar. Bu mikroorganizmalar sıcaklık ve pH değişikliklerine özellikle duyarlıdır, gelişimleri uçucu yağ asitleri ve diğer bileşiklerin yüksek seviyesi tarafından inhibe olmaktadır. Bu derleme metan üreten mikroorganizmalar için temel bir bilgi sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: metan, mikroorganizmalar

Methane Producing Microorganisms

Abstract

Population of the world increase rapidly. The demand of the world economy for electrical and thermal energy in over 88% is covered from non-renewable resources, mainly petroleum and natural gas. According to forecasts, the demand for fuels used for energy production will be further increased. Methane is the major component (95- 98%) of natural gas. Methane, is created both in the natural environment and through various human activities. Derived from the decay of organic material, methane is easily produced and abundant. Unlike fossil fuels, which are formed deep underground after being subjected to high heat and pressure over millions of years. Methane is renewable energy source. Similar to natural gas, methane has high energy content and is cleaner burning than coal or oil. Examples of methanogenic habitats are freshwater environments (sediments, wetlands, swamps, paddy fields etc.), intestinal tracts of higher animals and insects, landfills and anoxic bioreactors. In methanogenic environments organic matter is degraded by associations of fermenting, acetogenic and methanogenic bacteria. Methanogenic bacteria are strict anaerobes at the end of anaerobic food chains, using H₂ plus CO₂ or formate as common carbon and energy source. These microorganisms are particularly sensitive to changes in temperature and pH, their development being inhibited by a high level of volatile fatty acids and other compounds. This review provides an basic information to methane producing microorganisms.

Key words: methane, microorganisms

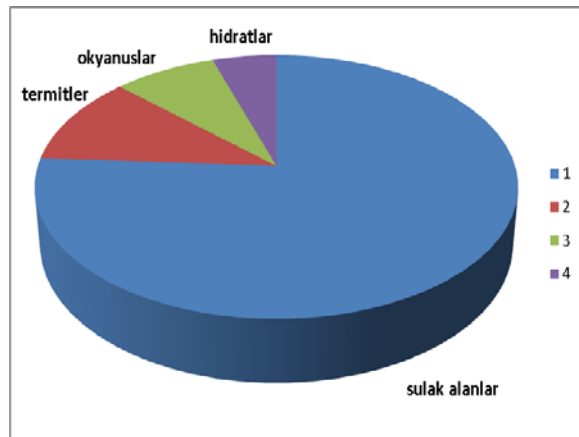
GİRİŞ

Dünya nüfusunun giderek artması ve kısıtlı enerji kaynakları ülkelerin enerji politikalarını değiştirmesine ve geliştirmesine neden olmaktadır. Giderek artan ısınma ihtiyacı, petrol için artan talep ülkeleri zor duruma sokmaktadır. Tüm bu nedenlerden dolayı Dünyada ve Türkiye’de enerji giderek büyük bir sorun haline gelmektedir. Dolayısı ile bilim insanları yeni arayışlar içine girmiştir. Doğal gaz hem yenilenebilir olması hem de temiz enerji grubuna girmesi nedeni ile insana ve çevreye dost bir ürün olarak karşımıza çıkmaktadır.

Türkiye enerji kaynakları bakımından halen dışa bağımlı olduğundan, kalkınmaya ayrılması gereken kaynakların önemli bir bölümünün enerji dış alımına aktarılması söz konusudur. Oysaki ülkemizin, küçümsenmeyecek bir organik gübre, bitkisel ve kentsel atık potansiyeline sahip olmasına rağmen, bu potansiyelin yeterince değerlendirilemediği bir gerçektir. Uzun yıllardır hayvansal atıklar hayvansal yakıt olarak değerlendirilmektedir. Sonuçta da topraklarımız için vazgeçilmez olan organik madde yok olmaktadır. Bu nedenle enerji tasarrufu sağlamak ve enerji üretimine katkıda bulunmak amacıyla biyogaz üretimi ve kullanımının teşvik edilmesi gerekmektedir. Biyogaz üretim tesislerinin yaygınlaştırılması ile organik materyaller değerlendirilip enerji üretimi söz konusu olabileceği gibi, elde edilen biyogübre de topraklarda kullanılarak kırsal kesime katkı sağladığı gibi, çevre sağlığına da olumlu katkıda bulunacaktır.

Doğal Metan Kaynakları

Biyogazın bileşiminde en fazla oranı metan gazı oluşturmaktadır. Biyogazın oluşumu ham materyalin ayrıştırılma sürecine ve süreçte kullanılan metoda bağlı olarak değişmekle birlikte metan CH₄ (%50- 75), CO₂ (%25- 45), H₂S (%0- 1), H₂ (0- 1), CO (%0- 2), N₂ (%0- 2), NH₃ (%0- 1), O₂ (%0- 2) ve H₂O (%2- 7) oranlarında bulunmaktadır [1]. Kuru organik maddenin 1 kg’ından yaklaşık olarak 0.24 m³ metan elde edilmektedir [2]. Metan hem doğal olarak ve hem de insan faaliyetleri sonucunda üretilmektedir. Atmosferik metanın doğal kaynakları aşağıdaki gibidir;



Şekil 1. Atmosferik metanın doğal kaynakları [3]

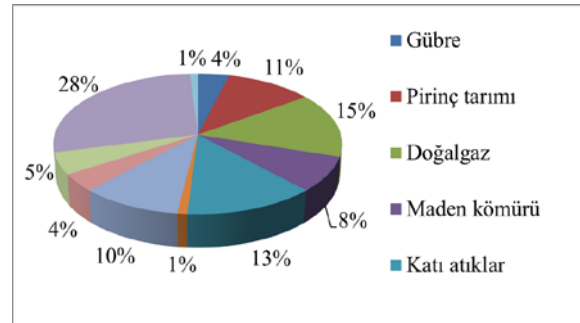
Atmosferik metan çeşitli yollardan doğaya salınmaktadır. Bunlar kendi arasında ikiye ayrılmaktadır. Bunlar;

Biyojenik metan kaynakları

Sulak alanlar, pirinç tarımı, yabancı hayvanlar ve hayvancılık, depolama sahası ve atıklar, biyokütle yakma, ormanlar, okyanuslar, termitler, ruminantlar, yangınlar, toplu kaynaklar ve antropojenik kaynaklardan elde edilebilmektedir (Şekil 1 ve 2).

Biyojenik olmayan metan kaynakları

Fosil yakıtların emisyonları ve yanması, enerji ve sanayi (doğal gaz, petrol ve kömür), atık arıtma, jeolojik kaynaklar, doğal gaz sızıntısından, jeotermal / volkanik CH₄ ve jeolojik kaynaklardan da metan üretimi söz konusudur (Şekil 2).



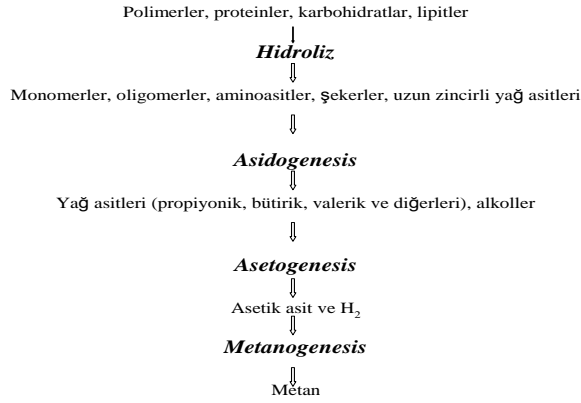
Şekil 2. Doğal olarak meydana gelen evrensel metan üretimi (2000) [4]

Metan Üretimi

Metan üretimi anaerobik koşullar altında gerçekleşen biyokimyasal reaksiyonların indirgenme sürecidir. Çeşitli anaerobik bakterilerin etkileri ile büyük moleküllü organik maddelerin kararlı bileşikler olan metan (CH₄) ve CO₂'e ayrıştırılmasına metanogenez denir [5]. Genellikle bu süreç, ara ürünleri gaz haline getirme, katı bileşikleri hidroliz etme ve sıvılaştırma işlemlerini kapsamaktadır [6;7;8]. Metan üretimi 3 aşamada gerçekleşmektedir. Bunlar hidroliz, asit oluşumu ve metanogenez’ tir [9;10].

Hidroliz basamağında, asit oluşumunda görevli mikroorganizmalar tarafından organik bileşikler valerik asit, bütirik asit, propiyonik asit ve asetik asit gibi organik asitlere ve metanola dönüştürülmektedir. Bu aşamada çözünmüş karbohidratlar etanol, H₂ ve CO₂'e, aminoasitler ise, süksinik asit ve hidrojene, yağ asitleri ise asetat ve hidrojene dönüşmektedir (Şekil 3).

Asit oluşumu basamağında ise, uzun zincirli yağ asitleri ve aminoasitler, anaerobik oksitleyiciler ve fermentatif organizmalar tarafından substrat gibi kullanılmaktadır [11;12]. Asit oluşumu basamağı asidojenesis ve asetojenesis olmak üzere iki basamakta ele alınmaktadır. Aminoasitler, şekerler ve yağ asitlerinin asidojenik bakterilerle organik asitler ve alkollere dönüştürülme evresine asidojenesis adı verilmektedir [13;11;14]. Asetojenesis evresinde ise organik asit ve alkoller, asetojenik bakteriler yardımıyla asetik asit, hidrojen ve karbondioksit dönüştürülmektedir [13;11;14] (Şekil 3).



Şekil 3. Metan fermentasyon sürecinin basamakları [20;21]

Metan oluşumu basamağında ise (metanojenesis), asit oluşum aşamasında oluşan organik asitler, H₂ ve asetat, metan oluşturan mikroorganizmalar tarafından kullanılmakta ve biyogaza dönüştürülmekte, metan ise asetattan veya karbondioksitin indirgenmesiyle üretilmektedir [15;16]. İki grup metanojenik organizma bu basamakta rol oynamaktadır. Birinci grup asetotrofik metanojenler olarak adlandırılır. Bu metanojenler asetatu, metan ve karbondioksite ayırırlar. Böylece asetotrofik metanojenler karmaşık moleküllerin biyogaza dönüştürülmesine bağlı olarak genellikle hız sınırlayıcıdır [13].

İkinci grup metanojenler, hidrojenotrofik metanojenler olarak adlandırılmakta ve hidrojeni elektron verici, karbondioksiti ise elektron alıcı gibi kullanarak metan üretmektedirler. Anaerobik süreçlerdeki asetojenler de karbondioksiti kullanarak hidrojen ve asetik asit formuna okside edebilirler. Üretilen metanın çoğu asetik asitten oluştuğu için hidrojen kullanan metanojenler ikincil önem arz etmektedir [17]. Hidrojen kullanan metanojenler anaerobik süreçlerde en hızlı büyüyen mikroorganizmalardır. Hidrojen kullanan metanojenler, bazı kolay hidrolize olabilen atıkların anaerobik parçalanmalarında çevre koşullarının değişikliğine, hız sınırlayıcı olan asetotrofik metanojenlerden daha duyarlıdır [11]. Hidrojen ve karbondioksitten metan üreten bakteriler asetat kullananlardan daha hızlıdır [13]. *Methanosarcina* ve *Methanosaeta* mikroorganizmaları asetatin metana doğrudan dönüşümünde rol oynamaktadırlar [18]. Bu aşamada oluşan metanın % 70' i asetatin dekarboksilasyonu, geriye kalanı ise hidrojen kullanan metan bakterileri tarafından CO₂' in indirgenme reaksiyonları ile oluşmaktadır [7;19] (Şekil 3).

Metan oluşum metabolizması benzersizdir, çünkü metabolik yol boyunca ihtiyaç duyulan ko-enzimler metanojenler dışında yaşayan hiçbir organizma tarafından oluşturulamamaktadır [20;21]. Bir anaerobik sistemde karmaşık yapıları organik maddelerin tamamen metana dönüşebilmesi için ortamda farklı türden ve birbirine bağımlı mikroorganizma gruplarının bulunması

gerekmektedir. Her mikroorganizma grubu kendilerinden önceki grupların ürettikleri maddeleri besin maddesi olarak kullanmaktadır (Şekil 3) [7].

Metan Üretiminde Kullanılan Substratlar

Metanojenik bakterilerin kullandıkları substratlar sınırlı olup, çoğu tür yalnızca H₂ ve CO₂' in varlığında reaksiyonu gerçekleştirirken, bazı türler format, asetat, metanol, metilaminler ve diğer sınırlı substratları katabolize etmektedirler. Ayrıca izopropanol ve CO₂, etanol ve CO₂, metanol ve H₂ karışımları ile dimetil sülfidi de kullanılmaktadırlar (Tablo 1). Substrat kullanımını sebebiyle metanojenler iki gruba ayrılmaktadır [22]. Bunlar hidrojenotrofikler ve asetotrofiklerdir.

Metan Üretiminde Kullanılan Reaktörler

Metan üretiminde çok sayıda reaktör ile çalışılmaktadır. Bunlar arasında; anaerobik bölmeli biyoreaktör, anaerobik filtre, anaerobik akışkan yataklı reaktör, termofilik yukarı akışlı anaerobik filtre, sürekli karıştırımlı reaktör, geri dönüşümlü anaerobik bölmeli reaktörler yer almaktadır [24;25;26;27].

Metan Üretimini Etkileyen Faktörler

Metan üretimi üzerine etkili olan çok sayıda çevresel faktör bulunmaktadır. Bunlar arasında oksijen, sıcaklık, redoks potansiyeli, hidrokarbonlar, organik maddenin biyogaz potansiyeli, organik maddenin yapısı, anaerobik ünitenin dizaynı, mikroorganizmanın cinsi ve konsantrasyonu, pH, yükleme hızı, hidrolik bekleme süresi (HBS), karbonun azota oranı (C/N), uçucu yağ asitlerinin varlığı (VFA) ve karıştırma yer almaktadır.

Redoks potansiyeli: Toprağın redoks potansiyeli önemli bir faktördür. Metan üretimi için toprağın redoks potansiyeli -150 mV' un altında olmalıdır [28].

Oksijen: Oksijenin metan üzerindeki inhibitör etkisi hücrelerdeki AMP (adenozin monofosfat), ADP (adenozin difosfat) ve ATP (adenozin trifosfat) birikimleri incelenerek belirlenmiştir. Metan oluşumunun en yüksek değerine ulaştığı kültürlerde ATP birikimi de en yüksek düzeye olmuş ancak kültüre oksijen verilmesi durumunda metan üretimi inhibe olmaktadır, sonuç olarak ATP birikimi azalmakta ve AMP birikimi artmaya başlamaktadır [28].

Klorlanmış hidrokarbonlar: Klorlanmış hidrokarbonlar metan üretiminin kompetitif (yarışçı) inhibitörleridir [28].

Sıcaklık: Metabolik hız, iyonizasyonda ve besin maddelerinin çözünürlüğünde sıcaklık önemli bir parametredir. Bakterilerin çoğalmaları ve biyogaz üretmeleri için 2 farklı sıcaklık aralığı önemlidir. Birincisi 30-40°C arası mezofilik bölge, ikincisi 50-60°C arası termofilik bölgedir [29].

pH etkisi: Anaerobik ortamda en iyi metan üretimi optimum pH aralığı 6.6- 7.6'dır. Bu değer 6.2' nin altına inmesi metan bakterileri üzerinde toksik etki yapmaktadır. Fermentasyon sisteminin pH'sı ortamda üretilen yağ asitleri, bikarbonat alkalinitesi ve üretilen CO₂ tarafından etkilenmektedir.

Tablo 1. Anaerobik bakteriler tarafından kullanılan substratlar ve ürünleri [23]

Mikroorganizmalar	Substratlar	Ürünler
Fermentatifler	kompleks polimerler (polisakkaritler)	H ₂ , CO ₂ , format, asetat, propiyonat, bütirat, alkoller
Asetojenikler	uzun zincirli uçucu asitler (bütirat, propiyonat)	asetat, H ₂
Metanojenler	CO ₂ , H ₂ , format, asetat	CH ₄ , CO ₂

C/N oranı: Metan üretiminde etkili olan mikroorganizmalar C, O, H' in yanı sıra N, S, P, K, Ca, Mg gibi elementlere ihtiyaç duymaktadırlar. Ayrıca ortamda Fe, Mn, Mo, Zn, Co, Se, W ve Ni gibi elementlerin de bulunması gerekmektedir. Metan bakterilerinin metabolik etkinlikleri C/N oranı ile değiştiği için C/N oranı da metan üretiminde önemli faktörlerden biridir. Organik madde konsantrasyonunda ki ani artışlar asit üretiminin artmasına ve pH düşmesine neden olmakta ve sonuç olarak metan bakterileri üzerinde inhibisyon etkisi yapmaktadır [19].

Hidrolik bekleme süresi: Belli bir miktar organik maddenin oluşacak toplam gazın %80' inin oluşması için gerekli zamandır.

Mineral ve ağır metaller: Mineral iyonlar ve ağır metaller bakteriler üzerine toksik etki yaptıkları için biyogaz üretimini düşürmekte, bunun dışında yüksek konsantrasyonlar bakterilerin ölümüne sebebiyet vererek sistemin devre dışı kalmasına neden olmaktadır. Az miktarda mineral iyonu (Na, K, Ca, Mg, NH₄ ve S) bakterilerin gelişimleri için faydalıdır. Cu, Ni, Cr, Zn, Sn gibi ağır metallerin eser konsantrasyonları bakteri gelişimini olumlu etkilerken, yüksek konsantrasyonları toksik etki yaratmaktadır.

Metan Üreten Mikroorganizmalar ve Sistematiği

Metan üreten mikroorganizmaların koloni morfolojisi ve Gram reaksiyonları farklılık göstermekte olup, optimum pH istekleri 6.1 ile 9 arasında değişmektedir. Sitolojik farklılıklarına dayanarak metanojenler 2 tip morfoloji göstermektedir [30]. Bunlar;

Cubuk şekilli bakteriler

- Spor- oluşturmayan, *Methanobacterium*
- Spor oluşturan, *Methanobacillus*

Küresel şekilli bakteriler

- Sarcinae, *Methanosarcina*
- Sarsinal gruba girmeyenler, *Methanococcus*

Metanojenikler yavaş gelişmekte olup, fiziksel ve kimyasal koşullardaki ani bir değişime karşı duyarlıdır. Örneğin, 2°C' lik ani bir sıcaklık düşüşü belirgin bir şekilde büyüme ve metan üretim oranını etkilemektedir. Organik madde degradasyonu sırasında farklı mikroorganizma türleri süreçte katılmaktadır. Bu süreç içerisinde yer alan mikroorganizmalardan biri de metanojenikler olup, elektron vericisi olarak organik karbon veya hidrojeni kullanırken, elektron alıcısı olarak ise CO₂' i kullanmaktadır. Reaksiyon sonucunda açığa çıkan ürün ise metandır (Tablo 2) [31;32].

Metanojenler 4 sınıf, 5 takım, 9 aile ve 26 cins ayrılır. *Euryarchaeota* şubesi 7 sınıf içermekte olup, bunlar *Methanobacteria*, *Methanococci*, *Halobacteria*, *Thermoplasmata*, *Thermococci*, *Archaeoglobi* ve

Methanopyri' dir. *Euryarchaeota* şubesi çok çeşitli morfolojik yapı göstermektedir; çubuk, kok, düzensiz kok, lanset, spiral, disk şekilli, üçgen veya kare şekilli hücreler içermektedir. Hücre duvarında pseudomurein bulunup bulunmamasına bağlı olarak Gram pozitif veya negatif olarak boyanmaktadır. Bazı sınıfların hücre duvarında *Thermoplasmata*'da olduğu gibi protein bulunmamaktadır [34] (Tablo 3).

Metan Üreten Mikroorganizmaların Ekolojisi

Doğal çevrelerde metanojenlerin ayrımı çeşitli sıcaklık, pH ve tuzluluk aralığına adaptasyonlarına bağlı olarak yapılmaktadır. Bilinen toplam metanojenlerin %20'si termofilik türler içermektedir. Bu türler 6 cinsi kapsamaktadır. Çoğu metanojenin gelişim pH aralığı 6.0-8.0'dir [35;36]. Anaerobik bakteriler arasında metanojenler toplam mikrofloranın %10'unu oluşturmaktadırlar [37;38]. Kaplıcalar, kükürt kaynakları, deniz dipleri ve hidrotermal bölgeler gibi termofilik habitatlar aktif metanojenesisin olduğu alanlardır [39;40;41]. Metanojenler ruminantlar ve diğer hayvanların sindirim sistemlerinde de faaliyet göstermektedirler. Herbivor memelilerin rumen ve kör bağırsaklarında asetattan az miktarda metan üretimi yapılmaktadır. Çünkü bu hayvanlar intestinal epitelyum ile fermantasyon sürecinde üretilen uçucu yağ asitlerini absorblamaktadırlar [42]. Metanojenler insanların kalın bağırsaklarında da bulunmakta olup, *Methanobrevibacter* cinsine ait türler göze çarpmaktadır ancak *Methanosphaera* ve *Methanogenium* türlerine de rastlanmaktadır. Ayrıca aynı bakteriler insanların ağız boşluklarında dental plak ile ilişkili olarak bulunmaktadırlar [43;44;45;46]. Metanojenler tundra, bataklıklar, pirinç tarlaları, dip birikintileri, kumsal lagünler, atık sular, katı atık alanları, ruminantların mideleri gibi anaerobik çevrelerde yaşamaktadırlar. Ortamda uçucu yağ asitleri, H₂, NH₄, H₂S gibi diğer bileşiklerin yüksek oranda bulunması gelişmelerine engelleyici etki yapmaktadır [47;20;21].

Biyogazın kullanım alanının genişletilmesi için biyogaz içerisindeki asıl enerji kaynağı olan metan (CH₄) oranının artırılması gerekmektedir. Biyogazın enerji seviyesinin zenginleştirilmesi, nakledilebilir hale gelmesi, taşıtlarda yakıt olarak kullanılabilmesi, doğal gaz ile belli oranlarda karıştırılabilmesi, ısı ve elektrik üretiminde verimli şekilde yararlanılabilmesi, içinde enerji seyreltici olan, basınç altında depolama gücü oluşturan ve nakil sistemlerinde korozyona neden olan maddelerden arındırılması gerekmektedir. Bunun dışında biyogaz üretimi sonucunda sıvı formda fermente organik gübre elde edilmekte olup, fermantasyon sonucu elde edilen bu organik gübrenin temel avantajı verimin yüksek olmasıdır.

Tablo 2. Organik madde degradasyonunda mikrobiyal süreçler [9; 32]

Mikroorganizmalar	e ⁻ vericisi	e ⁻ alıcısı	Ürün	Reaksiyon tipi
Fermentatif bakteriler	Organik karbon	Organik karbon	CO ₂	Fermentasyon
Sintrotrofik bakteriler	Organik karbon	Organik karbon	H ₂	Asetojenesis
Asetojenik bakteriler	Organik karbon/H ₂	CO ₂	CH ₃ COOH	Asetojenesis
Metanojenik bakteriler	Organik karbon/H ₂	CO ₂	CH ₄	Metanojenesis

Tablo 3. Metanojenik mikroorganizmaların sistematigi [33]

Sınıf	Takım	Familiya	Cins	Tür
<i>Methanobacteria</i>	<i>Methanobacteriales</i>	<i>Methanobacteriaceae</i>	<i>Methanobacterium</i>	<i>M. formicicum</i>
			<i>Methanobrevibacter</i>	<i>M. ruminantium</i>
			<i>Methanosphaera</i>	<i>M. stadtmanae</i>
			<i>Methanothermobacter</i>	<i>M. thermotrophicus</i>
		<i>Methanothermaceae</i>	<i>Methanothermus</i>	<i>M. fervidus</i>
<i>Methanococci</i>	<i>Methanococcales</i>	<i>Methanococcaceae</i>	<i>Methanococcus</i>	<i>M. vannielii</i>
			<i>Methanothermococcus</i>	<i>M. thermolithotrophicus</i>
		<i>Methanocaldococcaceae</i>	<i>Methanocaldococcus</i>	<i>M. jannaschii</i>
			<i>Methanotorris</i>	<i>M. igneus</i>
	<i>Methanomicrobiales</i>	<i>Methanomicrobiaceae</i>	<i>Methanomicrobium</i>	<i>M. mobile</i>
			<i>Methanoculleus</i>	<i>M. bourgensis</i>
			<i>Methanofollis</i>	<i>M. tationis</i>
			<i>Methanogenium</i>	<i>M. cariaci</i>
			<i>Methanolacinia</i>	<i>M. paynteri</i>
			<i>Methanoplanus</i>	<i>M. limicola</i>
		<i>Methanocorpusculaceae</i>	<i>Methanocorpusculum</i>	<i>M. parvum</i>
		<i>Methanospirillaceae</i>	<i>Methanospirillum</i>	<i>M. hungatei</i>
	<i>Methanocalculus</i>		<i>M. halotolerans</i>	
	<i>Methanosarcinales</i>	<i>Methanosarcinaceae</i>	<i>Methanosarcina</i>	<i>M. barkeri</i>
			<i>Methanococcoides</i>	<i>M. methylutens</i>
			<i>Methanohalobium</i>	<i>M. evestigatum</i>
<i>Methanohalophilus</i>			<i>M. mahii</i>	
<i>Methanolobus</i>			<i>M. tindarius</i>	
<i>Methanosalsum</i>			<i>M. zihilinae</i>	
	<i>Methanosaetaceae</i>	<i>Methanosaeta</i>	<i>M. concilii</i>	
<i>Halobacteria</i>	<i>Halobacteriales</i>	<i>Halobacteriaceae</i>	<i>Halobacterium</i>	<i>H. salinarum</i>
			<i>Haloarcula</i>	<i>H. vallismortis</i>
			<i>Halobaculum</i>	<i>H. gomorrense</i>
			<i>Halococcus</i>	<i>H. morrhuae</i>
			<i>Haloferax</i>	<i>H. volcanii</i>
			<i>Halogeometricum</i>	<i>H. borinquense</i>
			<i>Halorubrum</i>	<i>H. saccharovororum</i>
			<i>Haloterrigena</i>	<i>H. turkmenica</i>
			<i>Natrialba</i>	<i>N. asiatica</i>
			<i>Natrinema</i>	<i>N. pellirubrum</i>
			<i>Natronobacterium</i>	<i>N. gregoryi</i>
			<i>Natronococcus</i>	<i>N. occultus</i>
			<i>Natronomonas</i>	<i>N. pharaonis</i>
<i>Natronorubrum</i>	<i>N. bangense</i>			
<i>Thermoplasmata</i>	<i>Thermoplasmatales</i>	<i>Thermoplasmataceae</i>	<i>Thermoplasma</i>	<i>T. acidophilum</i>
		<i>Picrophilaceae</i>	<i>Picrophilus</i>	<i>P. oshimae</i>
<i>Thermococci</i>	<i>Thermococcales</i>	<i>Thermococcaceae</i>	<i>Thermococcus</i>	<i>T. celer</i>
			<i>Pyrococcus</i>	<i>P. furiosus</i>
<i>Archaeoglobi</i>	<i>Archaeoglobales</i>	<i>Archaeoglobaceae</i>	<i>Archaeoglobus</i>	<i>A. fulgidus</i>
			<i>Ferroglobus</i>	<i>F. placidus</i>
<i>Methanopyri</i>	<i>Methanopyrales</i>	<i>Methanopyraceae</i>	<i>Methanopyrus</i>	<i>M. kandleri</i>

KAYNAKLAR

- [1] Graaf, D., Fendler, R. (2010). Biogas production in Germany. Federal Environment Agency. Dessau-Rosslau, pp. 29.
- [2] Arbon, IM. (2002). Worldwide use of biomass in power generation and combined heat and power schemes. *J. Power Energy*, 216: 41-57.
- [3] EPA. (1993). Anthropogenic Methane Emissions in the United States: Estimates for 1990, Report to Congress, Atmospheric Pollution Prevention Division, Office of Air and Radiation, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA 430-R-93-003. (<http://www.epa.gov/ghg/info/reports.htm>).
- [4] IPCC. (1996). Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- [5] Naik, SN., Vaibhav, V., Goud Prasant, KR., Ajay, KD. (2010). Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review, *Renewable Sustainable Energy Rev.* 14: 578-597.
- [6] Lyberatos, G., Skiadas, IV. (1999). Modeling of anaerobic digestion- review. *Global Nest. Int. J.* 1: 63-76.
- [7] Speece, R.E. (1996). "Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater", Arche Press, Tennessee. 416 pages. 0965022609.
- [8] Flotats, X. (2000). La digestió anaeròbia com alternativa de tractament o com procés previ al procés de compostatge. 4^a Jornada Tècnica sobre la gestió de Residus Municipals: Residus orgànics municipals i compostatge". Barcelona, 19 de desembre 2000 page1-12.
- [9] Mashaphu, N. (2005). The microbial composition of natural methanogenic consortium. A thesis M.Sc. University of Western Cape.
- [10] Saxena, RC., Adhikari, DK., Goyal, HB. (2009). Biomass-based energy fuel through biochemical routes: A review, *Renewable Sustainable Energy Rev.* 13: 167-178.
- [11] Björnsson, L. (2000). Intensification of the Biogas Process by Improved Process Monitoring and Biomass Retention. *Univ.-bibl.*, page 43. ISBN 9178740754, 9789178740758
- [12] Dewil, R., Appels, R., Baeyens, J., Degreve, J. (2007). Peroxidation Enhances The Biogas Production in the Anaerobic Digestion of Biosolids. *Journal of Hazardous Materials*, 146: 577-581.
- [13] Van Haandel, A.C. ve Lettinga, G. (1994). *Anaerobic Sewage Treatment*. John Wiley & Sons, England, 226.
- [14] Juanga, J.P. (2005). Optimizing Dry Anaerobic Digestion of Organic Fraction of Municipal Solid Waste. Asian Institute of Technology, Thailand, 170s.
- [15] Verma, S. (2002). Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes, Department of Earth & Environmental Engineering, 56s.
- [16] Zaher, U., Li, R., Jeppsson, U., Steyer, J.P. and Chen, S. (2009). GISCOD: General integrated solid waste co-digestion model. *Vol. 43: 2717-2727*.
- [17] Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering*, Mc Graw Hill, New York, 1819s.
- [18] Schmidt, L.D. (2000). High yields of synthesis gas by millisecond partial oxidation of higher hydrocarbons. *Catalysis Letters*, 70, 99-107.
- [19] Gökçay, C.F., Duran, M.M. ve Demirer, G.N. (2001). "Anaerobik biyoteknoloji teorik altyapı ve uygulamalar", IV. Ulusal Çevre Müh. Kongresi, 7-10 Kasım İçel.
- [20] Smith, PH. (1966). The microbial ecology of sludge methanogenesis. *Dev. Ind. Microbiol.* 7: 156-161.
- [21] Zeikus, JG. (1977). The biology of methanogenic bacteria. *Bact. Rev.* 41: 514-541.
- [22] Demirel, B., Scherer, P. (2008). The roles of acetotrophic and hydrogenotrophic methanogens Turing anaerobic conversion of biomass to methane: a review. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 7: 173-190.
- [23] De Bok, FAM., Harmsen, HJK., Plugge, CM., De Vries, MC., Akkermans, ADL., De Vos, WM., Stams, AJM. (2005). The first true obligatory syntrophic propionate-oxidizing bacterium, *Pelotomaculum Schinkii* sp. nov., co-culture with *Methanospirillum hungatei*, and emended description of the genus *Pelotomaculum*. *Int. J. Syst. Evolut. Microbiol.* 55: 1697-1703.
- [24] Borja, R., Banks, C.J. (1995). Response of an anaerobic Duidized bed reactor treating ice-cream wastewater to organic, hydraulic, temperature and pH shocks. *Journal of Biotechnology* 39, 251-259.
- [25] Faisal, M., Unno, H. (2001). Kinetic analysis of palm oil mill wastewater treatment by a modified anaerobic baffled reactor. *Biochem Eng J* 9:25- 31.
- [26] Mustapha, S., Ashhuby, B., Rashid, M., Azni, I. (2003). Start-up strategy of a thermophilic upflow anaerobic filter for treating palm oil mill effluent. *Trans IchemE* 81:262-266.
- [27] Tong, SL., Bakar Jaafar, A. (2005). POME biogas capture, upgrading and utilisation. Proceeding of the PIPOC 2005 International Palm Oil Congress (chemistry and technology) p. 328-336.
- [28] Patrick, W.H. (1981). The role of inorganic redox systems in controlling reduction in paddy soils. *In Proc. Symp. on Paddy Soil*, Nanjing, China. 19-24 Oct. 1980. Sci. Press, Beijing, and Springer- Verlag, New York. 107-230.
- [29] Bahtiyar, Ö., Emin, O. (2008). Membran yöntemiyle biyogazdan karbondioksitin ayrıştırılması ve metan saflaştırma projesi "Proje No: 105Y084
- [30] Alexander, M. (1961). "Introduction to Soil Microbiology". John Wiley & Sons, Inc. pp 227-231.
- [31] Takai, Y. (1970). The mechanism of methane fermentation in flooded paddy soil. *Soil Sci. Plant Nutrition* 16: 238- 244.
- [32] Conrad, R. (1989). Activity of methanogenic bacteria in anoxic sediments: Role of H₂-syntrophic methanogenic bacterial associations, in *Recent Advances in Microbial Ecology* (Hattori, T., Ishida, Y., Maruyama, Y., Morita, R.I. and Uchida, A., Eds.), pp. 118-122. Japan Scientific Societies Press, Tokyo.
- [33] Balch, W.E., Fox, G.E., Magrum, L.J., Woese, C.R and Wolfe, R.S. (1979). Methanogens: reevaluation of a unique biological group. *Microbiol. Rev.* 43:260-96.
- [34] Balch, W.E., Scherberth, S., Tanner, R.S and Wolfe, R.S. (1977). Asetobacterium, a new genus of hydrogen-oxidizing, carbon dioxide-reducing, anaerobic bacteria. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 27:355-61.
- [35] Worakit, S., Boone, D.R., Mah, R.A., AbdeNamie, M.E. and El-Halwagi, M.M. (1986). *Methanobacterium alcalophilum* sp. nov., an H₂-utilizing methanogen that grows at high pH values. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 36, 380-382.
- [36] Blotvogel, K.H., Fischer, U., Mocha, M. and Jannsen, S. (1985). *Methanobacterium thiermoalcaliphilum* spec. nov., a new moderately alkaliphilic and thermophilic autotrophic methanogen. *Arch. Microbiol.* 142, 211-217.
- [37] Siebert, M.L., Toerien, D.F. and Hattingh, W.H.J. (1967). Estimation of methane producing bacterial count by

the most probable number (MPN) technique. Water Res. 1, 13-19.

[38] Labat, M. and Garcia, J.L. (1986). Study on the development of methanogenic microflora during anaerobic digestion of sugar beet pulp. Appl. Microbiol. Biotechnol. 25, 163-168.

[39] Stetter, K.O., Thomm, M., Winter, J., Wildgruber, G., Huber, H., Zillig, W., Janecovic, D., König, H., Palm, P. and Wunderl, S. (1981). *Methanothermobacter feravidus*, sp. nov., a novel extremely thermophilic methanogen isolated from an Icelandic hot spring. Zentralbl. Bakteriologie Parasitenkd. Infektionskr. Hyg. Abt. 1 Orig. Reihe C 2, 166-178.

[40] Jones, W.J., Leigh, J.A., Mayer, F., Woese, C.R. and Wolfe, R.S. (1983). *Metlianooccus jannaschii* sp. nov., an extremely thermophilic methanogen from a submarine hydrothermal vent. Arch. Microbiol. 136, 254-261.

[41] Huber, R., Kurr, M., Jannasch, H.W. and Stetter, K.O. (1989) A novel group of abyssal methanogenic archaeobacteria (*Methanopyrus*) growing at 110°C. Nature 342, 833.

[42] Hungate, R.E., Smith, W., Bauchop, T., Yu, I. and Rabinowitz, J.C. (1970). Formate as an intermediate in the bovine rumen fermentation. J. Bacteriol. 102, 389-397.

[43] Miller, T.L., Wolin, M.J., Hongxue, Z. and Bryant, M.P. (1986). Characteristics of methanogens isolated from bovine rumen. Appl. Environ. Microbiol. 51, 201-202.

[44] Miller, T.L. and Wolin, M.J. (1986). Methanogens in human and animal intestinal tracts. System. Appl. Microbiol. 7, 223-229.

[45] Miller, T.L., Wolin, M.J. and Kusel, E.A. (1986). Isolation and characterization of methanogens from animal feces. System. Appl. Microbiol. 8, 234-238.

[46] Belay, N., Johnson, R., Rajagopal, B.S., Conway de Macario, E. and Daniels, L. (1988). Methanogenic bacteria from human dental plaque. Appl. Environ. Microbiol. 54:2, 600-603.

[47] Bryant, M.P. (1979). Microbial methane production—theoretical aspects. J. Anim. Sci. 48: 193-201.