

ISITMA YAPILMAYAN BİYOGAZ TESİSLERİNDE SIĞIR VE TAVUK  
GÜBRESİNDEN METAN ÜRETİMİ KONUSUNDA  
BİR LABORATUVAR ÇALIŞMASI

Osman YALDIZ\*

Walter RUPRICH\*\*

Theo BISCHOFF\*\*\*

ÖZET

Isıtma yapılmayan ve basit konstrüksiyona sahip biyogaz tesislerinde üretim miktarı üzerinde etkili olan parametrelerin saptanması amacıyla laboratuvar koşullarında sığır ve tavuk gübresi anaerob fermentasyona tabi tutulmuştur.

Farklı sıcaklık ve yükleme oranlarına bağlı olarak elde edilebilecek metan miktarı ile oluşan gazdaki karbondioksit oranları saptanmış, bekleme süresinin uzamasıyla düşük sıcaklıkların metan üretimi üzerindeki olumsuz etkisinin karşılanabilirliği araştırılmıştır. Ayrıca metan üretiminde etkili olan ortam pH değerinin sıcaklık ve yükleme oranı ile değişimi incelenmiştir.

Yükleme oranı mesofil fermentasyon koşullarında olumlu etkiye sahip olmakla beraber, düşük sıcaklıklarda etkili değildir. 18°C'den daha düşük sıcaklık koşullarında uzun bekleme sürelerinin metan üretim miktarı açısından olumlu etkiye sahip olduğu gözlenmiştir.

GİRİŞ

Organik artıklardan metan üretimi, özellikle tropik ve subtropik iklim koşullarına sahip gelişmekte olan ülkelerde ekonomik öneme sahiptir. Çin Halk Cumhuriyetinde 7 milyon, Hindistan'da 70.000 biyogaz tesisi kuruludur. Hindistan'da kurulu tesisler düşey konumda inşa edilmiş ve gaz depoları fermentasyon sıvısı içerisinde yüzer durumdadır (Bordo, 1979).

Mesofil koşullarda çalışan biyogaz üreteçlerinde daha fazla miktarlarda metan üretimi sağlanmakla beraber, ısıtma için gerekli donanımların maliyeti yükseltmesi nedeniyle gelişmekte olan ülkelerde kullanımı oldukça zordur. Özellikle küçük hayvancılık işletmelerinde bu tip üreteçlerin yapımı olanaksızdır.

---

\* Yrd.Doç.Dr., Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi,  
Tarımsal Mekanizasyon Bölümü.

\*\* Dr., Hohenheim Üniversitesi Tarım Tekniği Enstitüsü, Almanya.

\*\*\* Prof.Dr., Hohenheim Üniversitesi Tarım Tekniği Enstitüsü,  
Almanya.

Bu bilgilerin ışığı altında çalışmada basit ve ısıtma yapılmayan biyogaz tesislerinde pratik koşullarda uygulanabilecek temel esaslar tespit edilmeye çalışılmış ve üretime direkt etkisi bulunan sıcaklık ve fermentasyon süresinin optimum sınırları saptanmıştır.

#### MATERYAL ve METOD

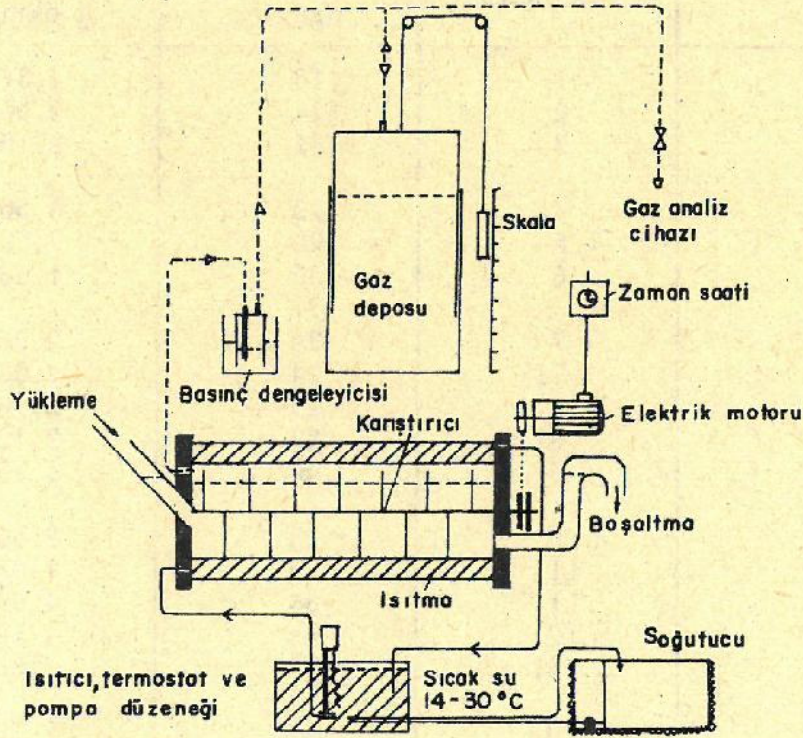
Deneme çalışmaları bir doktora programı çerçevesinde Hohenheim Üniversitesi Tarım Tekniği Enstitüsü biyogaz laboratuvarında 18 laboratuvar üretecinde yürütülmüştür. Bir üreteç birimi yatay bir üreteçten, ısıtma düzeneğinden ve üretilen gazın toplandığı bir yaş gaz deposundan oluşmaktadır. Üreteç iç içe geçmiş iki adet silindirden meydana gelmiştir. Camdan imal edilmiş iç silindir fermentasyon odasını oluşturmaktadır. Dıştaki silindir flexiglastan yapılmış olup içteki silindirin etrafını çevrelemektedir. Reaktörler mekanik karıştırıcıya sahip olup, 30 dakikalık süre aralığında 14 devir/dak.'lık dönüş hızına sahip bir elektrik motoru yardımıyla 80 saniye süre ile karıştırılmaktadır. Seçilen fermentasyon sıcaklıkları 0,7 kW gücündeki bir ısıtıcı tarafından ısıtılan ve reaktörleri oluşturan iki silindir arasındaki 25 mm'lik boşlukta 7,5 L/dak.'lık bir verkiye sahip pompa gücüyle sirküle edilen su yardımıyla sabit tutulabilmektedir. Denemelerin yürütülmesi sırasında oda sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda çalışan üreteçlerde sıcaklık ayarlanması (10, 14, 18°C) ek olarak sisteme ilâve edilen bir soğutucu yardımıyla sağlanmıştır.

Günlük üretilen biyogaz, bir basınç dengeleyici üzerinden geçirilerek yaş gaz deposunda toplanmaktadır. Basınç dengeleyici fermentasyon odası içerisindeki basıncın sürekli 3 mbar düzeyinde kalmasını sağlamaktadır. Üretilen biyogaz miktarı gaz deposuna bağlanmış bir karşı ağırlık ve hacim esasına göre ölçülendirilmiş bir skala yardımıyla belirlenmiştir. Oluşan biyogazın karbondioksit içeriği gaz deposunun boşaltılması sırasında STROHLEEIN marka ve KOH içerisinde karbondioksiti yıkama prensibine dayalı olarak çalışan bir düzenekle tespit edilmiştir. Hidrojen sülfür içeriği ise bu işlem için özel hazırlanmış ve hidrojen sülfür ile reaksiyona girdiği zaman renk değiştiren bir madde içeren küçük kılcal borucuklar yardımıyla ölçülmüştür. Kullanılan taze gübrenin ve fermentasyonu tamamlayıp üreteçten dışarıya çıkan materyalin pH değerleri dijital bir pH metre ile tespit

edilmiştir. Kullanılan 18 biyogaz üretici paralel denemelerle kontrol edilmiş ve alınan sonuçlar arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır. Kullanılan üreteçlerin yapısı Şekil 1'de görülmektedir.

Araştırmalar 30, 26, 22, 18, 14 ve 10°C fermentasyon sıcaklıkları ve 16 ile 52 gün arasında değişen bekleme süresi koşullarında yürütülmüştür. Bekleme zamanının kısa olması gaz üretiminde artışı sağlıyor ise de uzun bekleme süreleri kullanılan hammaddeden daha fazla faydalanma oranını sağlamaktadır (Morrison et al., 1980; Gosch et al., 1982-1984; Kandler, 1979; Chen ve Hashimoto, 1980). Mesofil koşullarda çalışan bir tesiste net enerji üretimi 15-20 günlük bekleme sürelerinde elde edilmiştir (Ahlgren, 1982).

Tüm deneme periyodu içerisinde kullanılan materyalin organik kurumadde içeriği % 7 düzeyinde sabit tutulmuştur. Sığır gübresi ile metan fermentasyonunda tesisten elde edilecek net enerji miktarı açısından optimal kurumadde içeriği % 8-9 olarak bildirilmektedir (Baserga et al., 1984).



Üreteç: Uzunluk 690 mm      Fermentasyon hacmi 16 litre  
Çap . 200 mm

Şekil 1. Biyogaz üretici akış şeması.

Her sıcaklık kademesinde 3 ayrı bekleme süresi uygulanmıştır. Yükleme oranı, 30°C fermentasyon sıcaklığında 16 günlük bekleme süresi koşullarında 4.37 g okm/l.d ile 10°C fermentasyon sıcaklığı ve 52 günlük bekleme süresi koşullarında 1.34 g okm/l.d arasında değişmektedir.

Çalışma planı, pratikteki koşullara uygun olarak hazırlanmış, materyal olarak sığır ve tavuk gübresi kullanılmıştır. Üçüncü seri denemelerde araştırma 14, 18 ve 22°C fermentasyon sıcaklığı kademe-lerinde ve iki ayrı bekleme süresinde her iki gübre çeşidi için tekrarlanmıştır, ancak bu kez aşılamanın metan üretimi üzerindeki etkisini araştırmak için taze materyal fermente olmuş, gübre ile aşılanmıştır. Deneme planı Çizelge 1'de görülmektedir.

Çizelge 1. Deneme Planı, % 7 Organik Kurumadde

Fermentasyon Sıcaklığı (°C)	Deneme Varyantı	Bekleme Süresi (gün)	Yükleme Oranı (g okm/l.d)
30	1	16	4.37
	2	24	2.98
	3	32	2.18
26	4	20	3.50
	5	28	2.50
	6	36	1.94
22	7	24	2.98
	7I	24	2.98
	8	32	2.18
	8I	32	2.18
	9	40	1.75
18	10	28	2.50
	11	36	1.94
	11I	36	1.94
	12	44	1.59
	12I	44	1.59
14	13	32	2.18
	14	40	1.75
	14I	40	1.75
	15	48	1.45
	15I	48	1.45
10	16	36	1.94
	17	44	1.59
	18	52	1.34

I: Fermente olmuş gübre ile başlangıç fazı aşılanmıştır.

Her üç reaktör tüm deneme süresince aynı organik kuru madde içeriğine ve pH değerine sahip materyal ile beslenmiştir. Böylece oluşan altı grup arasında istatistiksel açıdan fark bulunmamıştır. Gruplar arasındaki standart sapma % 1'in altındadır ve F değerleri de kabul edilebilir sınırlar içerisinde.

## DENEME SONUÇLARI

### Biyogaz

Tavuk gübresinden 30, 26 ve 22°C fermentasyon sıcaklıklarında elde edilen biyogaz miktarlarının sığır gübresine daha fazla olduğu gözlenmiştir (Çizelge 2). 18°C ve daha düşük sıcaklıklarda tavuk gübresiyle yapılan denemelerde metan bakterileri için uygun yaşam koşulları sağlanamadığı için bu sıcaklıklarda H 17 deneme varyantının dışında üretilen biyogazdaki metan oranı % 50'nin altında olup gazın yanma özelliği bulunmamaktadır.

R 15 I numaralı varyantın dışında aşılama materyali ile başlayan denemelerin tümünde aşılama yapılmayanlara göre daha fazla gaz üretimi gözlenmiştir. 22°C fermentasyon sıcaklığında bu artış oranı % 33.2 düzeyinde olup, sıcaklığın azalmasıyla birlikte artmaktadır.

### Karbondioksit İçeriği

Sığır gübresinden elde edilen biyogazdaki CO<sub>2</sub> içeriği, fermentasyon sıcaklığı ve yükleme oranına bağlı olarak % 16.8 ile % 39.7 arasında değişmektedir (Şekil 2). Uzun bekleme süreleri ve düşük fermentasyon sıcaklıkları karbondioksit içeriğinin azalmasına neden olmaktadır. Aşılama maddesiyle başlatılan ve 14°C sıcaklıkta yürütülen denemelerde CO<sub>2</sub> içeriğinde aşılama yapılmadan yürütülen denemelere göre bir artma gözlenmiştir (Şekil 3). Günlük ölçülen karbondioksit içerikleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır.

Tavuk gübresiyle yürütülen denemelerde CO<sub>2</sub> içeriği % 37.4 ile % 82.8 arasında değişmekte olup, sığır gübresindeki sonuçların tersine sıcaklığın düşmesiyle birlikte CO<sub>2</sub> içeriği artmaktadır. 22°C'den daha düşük sıcaklıklarda CO<sub>2</sub> içeriği % 50'nin üzerinde olup biyogaz yanma özelliğini kaybetmektedir (Şekil 2).

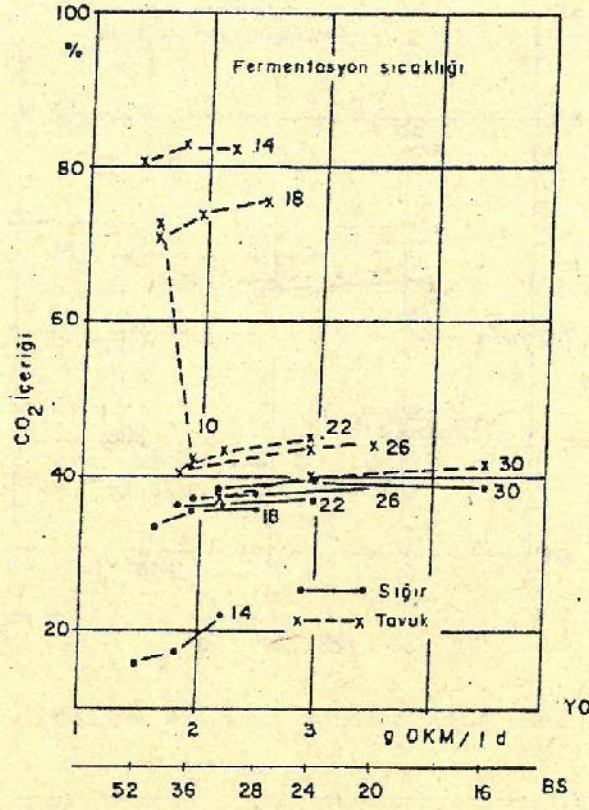
Çizelge 2. Sığır ve tavuk gübresi metan fermentasyonu ölçülen ve hesaplanan büyüklükler

Vv	T °C	pH <sub>z</sub>	G L/d	Mv L/L.d	M okm <sub>z</sub> L/goTS	pH <sub>a</sub>	CH <sub>4</sub> %
1	30	6.97/6.59	15/29.8*	0.57/1.08	0.13/0.26	7.35/7.97	60.5/58.4
2			13/23.1	0.49/0.86	0.17/0.32	7.36/8.01	60.5/59.8
3			11.5/18.4	0.43/0.69	0.21/0.33	7.38/8.12	60.8/62.3
4	26	6.97/6.55	10.2/20.2	0.39/0.69	0.11/0.21	7.23/7.76	60.7/55.2
5			9.0/15.3	0.35/0.53	0.14/0.22	7.28/7.75	61.6/55.6
6			7.9/14.6	0.31/0.5	0.17/0.26	7.33/7.96	62.2/58.2
7	22	6.96/7.01	7.7/12.8	0.30/0.41	0.10/0.15	7.20/7.64	62.4/51.9
8			6.6/10.4	0.26/0.39	0.13/0.19	7.25/7.83	62.7/51.1
9			6.3/10.3	0.25/0.37	0.17/0.23	7.26/7.88	62.9/58.8
10	18	6.96/6.84	3.7/2.74	0.15/0.04	0.06/0.018	7.02/6.62	63.5/24.0
11			4.0/1.87	0.16/0.03	0.09/0.018	7.11/6.66	63.6/25.8
12			4.5/0.82	0.18/0.01	0.12/0.013	7.23/6.67	66.0/26.6
13	14	6.99/6.61	0.41/1.43	0.02/0.02	0.006/0.011	6.56/6.57	77.4/17.6
14			0.19/1.21	0.01/0.01	0.009/0.010	6.57/6.54	82.5/16.9
15			0.58/0.82	0.03/0.01	0.002/0.010	6.60/6.51	82.9/18.7
16	10	7.00/6.59	0/0	0/0	0/0	6.62/6.26	0/-
17			0/0.27	0/0.005	0/0.003	6.63/6.59	0/57.8
18			0/0.37	0/0.007	0/0.006	6.63/6.97	0/27.3
7I	22	6.97/6.55	10.5/17.1	0.43/0.84	0.15/0.24	7.30/7.95	64.6/60.3
8I			8.71/13.7	0.34/0.52	0.16/0.27	7.60/8.18	63.1/60.9
11I	18	6.50/6.55	6.77/8.55	0.26/0.26	0.14/0.14	7.21/7.68	62.6/65.9
12I			7.55/7.55	0.31/0.21	0.22/0.16	7.44/7.87	49.0/39.5
14I	14	6.50/5.93	0.92/3.02	0.04/0.07	0.03/0.05	7.14/7.50	67.8/30.5
15I			0.44/2.35	0.02/0.05	0.02/0.04	7.10/7.47	71.4/34.8

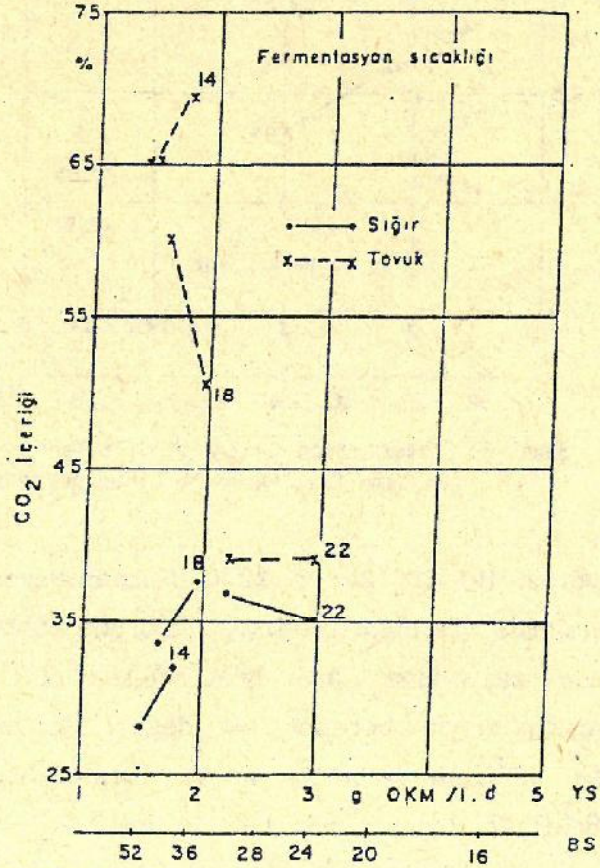
\* Sığır gübresi/tavuk gübresi deneme sonuçları

### pH-Değeri

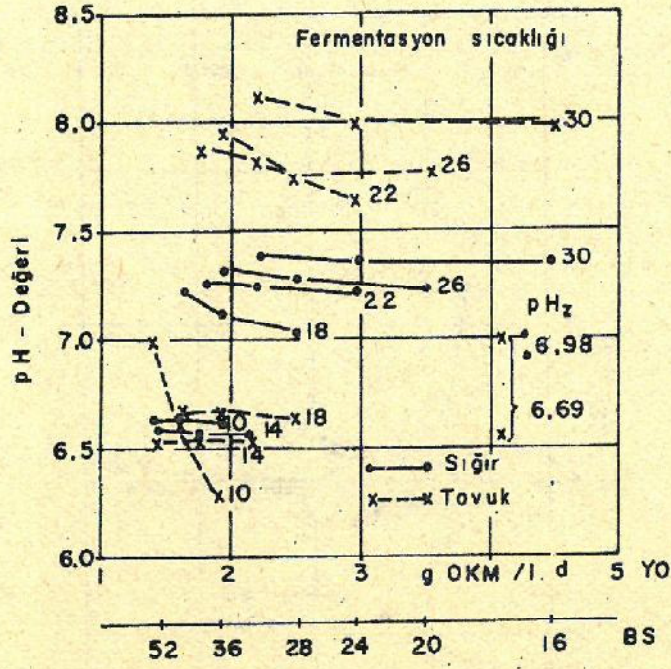
Sığır gübresinde ölçülen pH değerleri 6.56 ile 7.38 arasında değişmektedir. Yüklenen taze materyalin pH değeri ortalama 6.98 düzeyindedir (Şekil 4). 18°C ve daha yüksek fermentasyon sıcaklıkları ile 14°C'de ve aşılama materyali ile yapılan denemelerde fermente olmuş gübrenin pH değeri, taze materyal pH değerinden daha yüksek bulunmuştur (Şekil 5). Bunların dışında kalan deneme varyantlarının pH değeri dikkate alınarak, bu koşullar için metan fermentasyonundan değil; ancak bir asit fermentasyonundan bahsedilebilir.



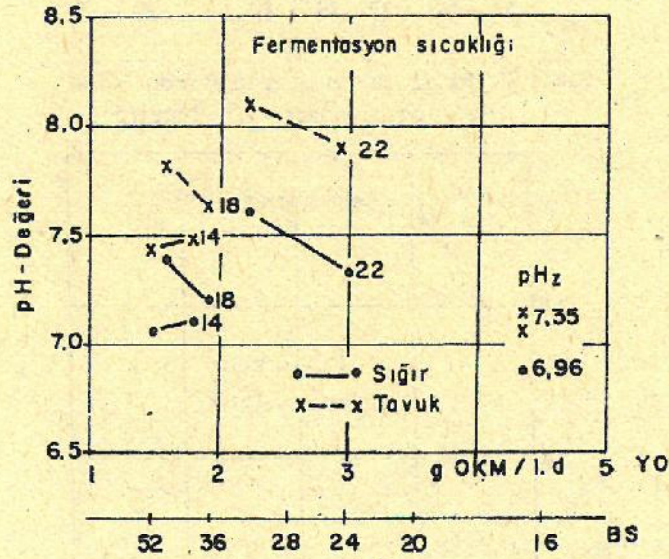
Şekil 2. Sığır ve tavuk gübresinden elde edilen biyogazın CO<sub>2</sub> içeriği



Şekil 3. Sığır ve tavuk gübresinden elde edilen biyogazın CO<sub>2</sub> içeriği (başlama fazı fermente olmuş gübre ile)



Şekil 4. Fermentasyon çamuru pH değerleri



Şekil 5. Fermentasyon çamuru pH değerleri (Başlama fazı fermente olmuş gübre ile)

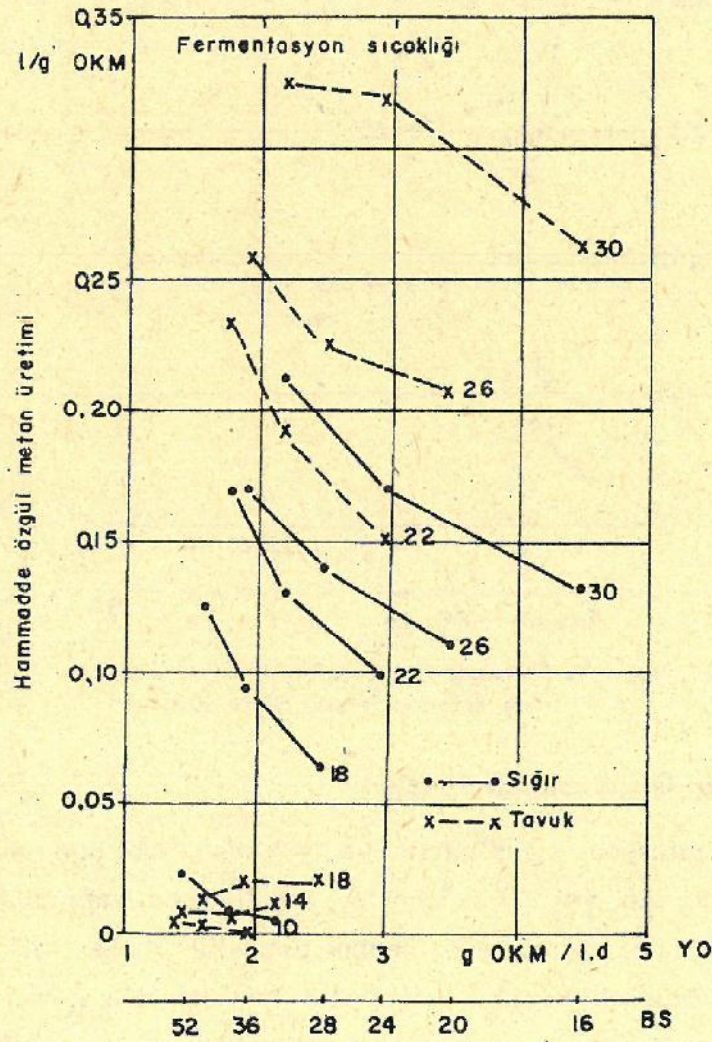
Tavuk gübresi ile 30, 26 ve 22°C fermantasyon sıcaklıklarında yürütülen denemelerde fermente olmuş gübrede ölçülen pH değeri sığır gübresi fermantasyonuna göre daha yüksek bulunmuştur. Azalan fermantasyon sıcaklıklarıyla beraber pH değeri de düşmekte, bu da tavuk gübresinde 22°C'nin altında metan fermantasyonunu olumsuz etkilemektedir (Şekil 4).



Her iki gübre çeşidi içinde aşılama pH değerinde ortalama % 4 oranında artmaya neden olmuştur. Tavuk gübresinde bu artış 18 ve 14°C sıcaklıklarda % 14 ve 18'e kadar ulaşmaktadır.

### Hammadde Özgül Metan Üretimi

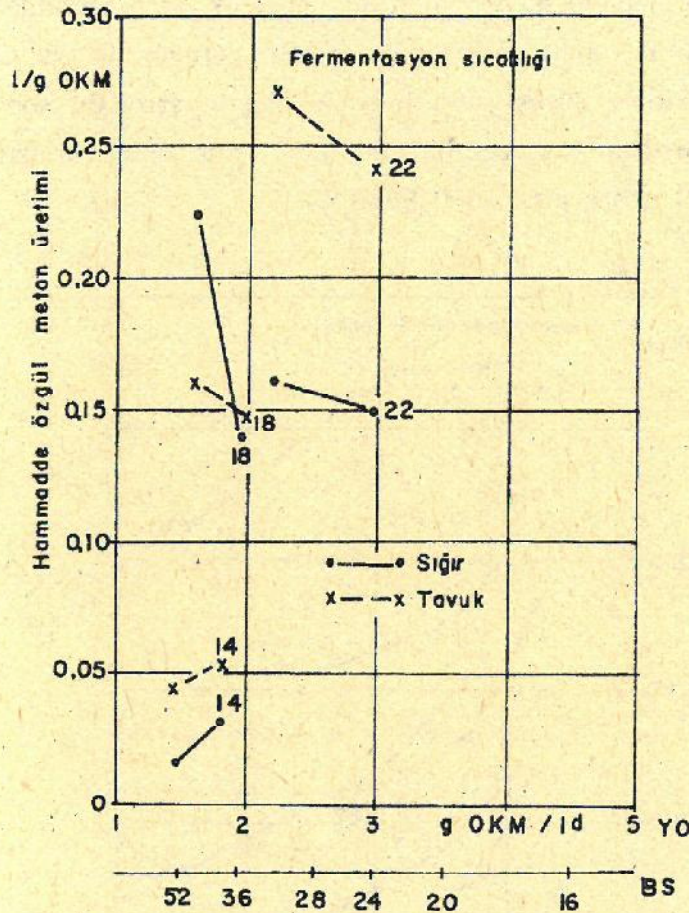
Tüm deneme varyantlarında, bekleme süresinin uzaması ile hammadde özgül metan üretiminde artma gözlenmiştir. Sığır gübresinde 26°C fermentasyon sıcaklığı ve 36 günlük bekleme süresi koşullarında üretece her gün yüklenen her 1 gram organik kuru maddeden 0.168 l/g metan üretilmiş, aynı miktardaki metan üretimine 22°C sıcaklık ve 40 günlük bekleme süresi koşullarında ulaşılmıştır. Bu sonuç azalan sıcaklıklardaki üretim düşmesinin bekleme süresinin artırılması ile karşılanabileceğini göstermektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Hammadde özgül metan üretimi

30, 26 ve 22°C sıcaklıklarda tavuk gübresinden daha büyük miktarlarda hammadde özgül metan üretimi gözlenmiştir. Sığır gübresinde 14°C'nin, tavuk gübresinde 18°C'nin altında oldukça az miktarda metan üretimi söz konusudur.

Denemeye alınan tüm varyantlarda aşılamanın olumlu etkisi görülmüş, 22°C fermentasyon sıcaklığında metan üretiminde % 30 ile % 63 arasında artış belirlenmiştir (Şekil 7).

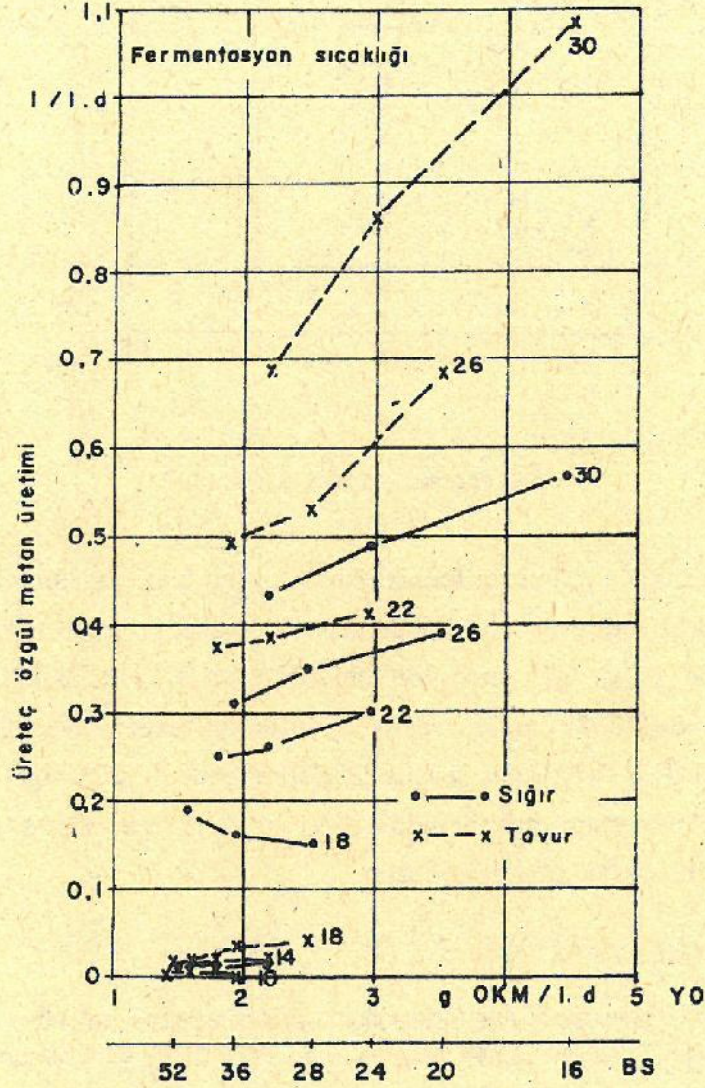


Şekil 7. Hammadde özgül metan üretimi (Başlama fazı fermente olmuş gübre ile)

### Üreteç Özgül Metan Üretimi

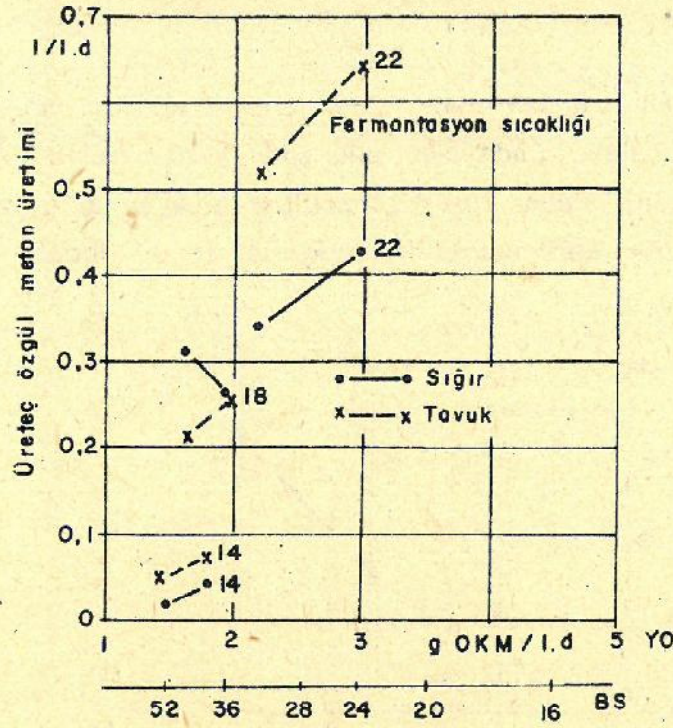
Fermentasyon sıcaklığının ve yüklenme oranının artması sığır gübresi ile 30, 26 ve 22°C sıcaklık koşullarında yapılan denemelerde metan üretiminde yükselmeye neden olmuştur (Şekil 8). Daha düşük sıcaklıklarda mikrobiyolojik aktivitenin yeterli olmaması nedeni ile yüklenme oranının artması metan üretimini olumsuz etkilemiştir.

Tavuk gübresinden elde edilen metan miktarı 30, 26 ve 22°C fermentasyon sıcaklıklarında sığır gübresine göre ortalama % 61 oranında daha fazladır. Daha düşük sıcaklıklarda aynı artış gözlenmemiş, neden olarak da karbondioksit içeriğinin fazla olması saptanmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Üreteç özgül metan üretimi

Aşılama maddesi ile başlatılan denemelerde, sığır gübresinde % 32.3 ile % 68.1, tavuk gübresinde % 35.3 ile % 55.0 oranında metan üretimi artışı sağlanmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Üreteç özgül metan üretimi (Başlama fazı fermente olmuş gübre ile)

Fermentasyon çamuru içerisindeki uçucu yağ asitlerinin miktarı, azalan sıcaklıkla beraber artmaktadır. En yüksek yağ asitleri içeriği sığır gübresinde 14°C fermentasyon sıcaklığı ve 1.74 g okm/l.d yükleme oranı koşullarında 13030 mg/l, tavuk gübresinde ise, yine 14°C sıcaklık ve 1.96 g okm/l.d yükleme oranı koşullarında 30130 mg/l düzeyinde ölçülmüştür. Amonyum miktarında ise, sıcaklık ve yükleme oranının kayda değer bir etkisi görülmemiştir.

## ZUSAMMENFASSUNG

### LABORUNTERSUCHUNGEN ZUR METHANPRODUKTION AUS RINDER- UND HÜHNERFLÜSSIGMIST ALS GRUNDLAGE DER PROZEOPTIMIERUNG VON UNBEHEIZTEN BIOGASANLAGEN

Im Rahmen der Untersuchungen wurde die Methanproduktion aus Rinder- und Hühnerflüssigmist bei verschiedenen Reaktionsbedingungen, die bei unbeheizten Biogasanlagen herrschen, in Labor-Fermentern ermittelt. Ziel dieser umfangreichen Versuchsvarianten war eine Prozeboptimierung von unbeheizten Biogasanlagen.

Bei verschiedenen Reaktionstemperatur und Raumbelastung sind die Methanproduktionsmenge sowie Kohlendioxidgehalt des Gases ermittelt und Möglichkeiten zum Ausgleich die negative Einfluss der niedrigen Temperaturen auf die Methanproduktion untersucht. Dabei ist auch die pH-Werte des Faulschlammes in Abhängigkeit der Gaertemperatur und Raumbelastung ermittelt.

In mesophilen Temperaturbereich verursacht die Zunahme der Raumbelastung eine Erhöhung der Methanproduktion. Unter 18°C wurde mit Verkürzung der Verweilzeit eine Abnahme der Methanproduktion festgestellt.

Semboller :		
okm	: Materyal organik kuru madde içeriği	%
R	: Sığır gübresi	
H	: Tavuk gübresi	
Vv	: Deneme varyantı	
pHz	: Hammadde pH değeri	
Mv	: Reaktör özgül metan Üretimi	l/l.d
M okm <sub>z</sub>	: Hammadde özgül metan Üretimi	l/g okm
pHa <sub>z</sub>	: Fermentasyon çamuru pH değeri	
CH <sub>4</sub>	: Biyogaz metan içeriği	%
YO <sub>4</sub>	: Yükleme oranı	g okm/l.d
BS	: Bekleme süresi	d

### KAYNAKLAR

- Ahlgrimm, H.J., 1982. Steuerung der 100 m<sup>3</sup>- Biogas- versuchsanlage der FAL nach Betriebstechnischen Rand- bedingungen. 2. Fachgespräch Biogas. 14-19 Oktober, Institut für Technologie, FAL.
- Bordo, 1979. Biogashandbuch zur Durchführung von Biogasprogrammen. Überseemuseum, Bremen.
- Chen, Y.R., Hashimoto, A.G., 1980. Energie requirement for anaerobic fermentation of livestock wastes. Proceedings 4th International Symposium in Livestock Wastes, 15-17 April, 117-121. Published by ASAE.
- Agostini, G., Weber, W., 1981. Anaerobe Behandlung von Pindergülle. Landtechnik 2, H 2, 50-53.
- Morrison, S.R., Vahra, P., Schupe, W.L., Hills, D.J., 1980. Biogas from volatile solids rate and hydrolic time. Proceedings 4th International Symposium in Livestock Wastes, 15-17 April, 96-98. Published by ASAE.
- Kandler, O., 1979. Optimierungsmöglichkeiten von Biogasprozessen unter Einsatz thermophiler Mikroorganismen. Seminar "Biokonversion, Biotechnische Verfahren zur Energiegewinnung", 19-33. Bundesministerium für Forschung und Technologie.