

Bursa İli Tarımsal Organik Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli ve Biyogazın Dizel Motorlarda Yakıt Olarak Kullanımının İncelenmesi

Yahya ULUSOY^{1*}, Rıdvan ARSLAN¹, Ayşe Hilal ULUKARDEŞLER¹,
Cafer KAPLAN¹, Basri KUL¹, Reyhane ARSLAN²

¹Uludağ Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bursa, Türkiye

²Uludağ Üniversitesi, Yenişehir İbrahim Orhan Meslek Yüksekokulu, Bursa, Türkiye

*E-posta: yahyau@uludag.edu.tr

Geliş Tarihi: 24.04.2015; Kabul Tarihi: 26.06.2015

Özet: Bu çalışmada, Bursa ilinin biyogaz potansiyelini tespit etmek üzere bir alan çalışması yapılmıştır. Bu amaçla, Bursa ili sınırları içerisinde Karacabey ilçesi başta olmak üzere yapılan literatür ve anket çalışmalarının yanı sıra Tarım İl Müdürlüğü ve Büyükşehir Belediyesi verilerine göre kent sınırları içerisinde toplanabilen organik atıklar gruplandırılarak kapasiteleri tespit edilmiştir. Yine bu kapasitelere göre değerlendirilebilecek organik madde ve elde edilebilecek metan miktarları hesaplanmıştır. Uygulama aşamasında ise henüz ülkemizde araç yakıtı olarak yaygın kullanılmayan doğalgazın, kullanılabilirliğine yönelik olarak biyogazın bir dizel motorda yakıt olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bursa ili hayvansal ve tarımsal kaynaklı organik atıklar açısından yüksek bir potansiyele sahiptir. Hâlihazırda bölgede kurulu hayvansal atıkların ve yeterince değerlendirilemeyen tarıma dayalı endüstri atıklarının değerlendirildiği iki ayrı tesiste 2-4 MWh'lık elektrik ya da benzer kapasitelerde ısı üretilebilmektedir. Ayrıca Bursa Büyükşehir Belediyesi de kentsel organik atıkları değerlendirerek biyogaz üretmektedir.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz, organik atık, metan, enerji.

Biogas Potential of Agricultural Organic Waste in Bursa and Investigation of Use of Biogas as a Fuel in Diesel Engines

Abstract: In this study, a field study to determine the potential of biogas Bursa province. For this purpose, Bursa province made especially Karacabey in includes literature and surveys as well as studies Provincial Directorate of Agriculture and organic waste grouping capabilities that can be collected within the city limits, according to the Metropolitan Municipality of data have been identified. Again, the amount of organic matter and methane can be obtained can be evaluated by this capacity are calculated. In the application stage, yet common in our country can not be used as fuel for natural gas vehicles, the availability of biogas as a fuel in a diesel engine was investigated for

usability. Bursa province in terms of animal and organic waste from agricultural sources has a high potential. Already established in the region and animal waste that can not be adequately evaluated by two separate evaluation of agro- industrial waste facility in 2-4 MWh electricity or heat can be produced in a similar capacity. In addition, Bursa Metropolitan Municipality of evaluating urban organic waste produces biogas.

Key Words: Biogas, organic waste, methane, energy.

Giriş

Dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artmaya devam etmesi, sanayileşmenin yeni boyutlar kazanması dünyada olduğu gibi ülkemizde de enerji ihtiyacını hızlı bir şekilde arttırmaktadır. Fosil kaynaklı enerji üretim ve kullanımı maliyetlerinin gün geçtikçe arttığı günümüzde bu enerji kaynaklarıyla rekabet edebilecek yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmaktadır (Yadvika ve ark. 2004). Bu kaynaklardan biyoyakıtlar, canlı olarak yaşamını tamamlamış organizmalar ya da bu organizmaların metabolik çıktıları kullanılarak üretilen, biyolojik olarak geri dönüştürülebilir katı, sıvı veya gaz yakıt kaynaklarıdır. Biyoyakıtlar özellikle elektrik üretimi ve ulaştırma sektörlerinin yoğun fosil yakıt kullanımı nedeni ile yaşam alanlarına verdiği zararların azaltılmasına yönelik bir kaynak olarak gösterilmektedir. Bu yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi de biyogazdır (White ve ark. 2011).

Biyogaz, organik maddelerin anaerobik ortamda değişik grup bakteriler tarafından parçalanması sırasında son ürün olarak açığa çıkan ve bileşimi, organik maddeleri oluşturan bileşiklere göre değişen yanıcı bir gaz karışımıdır (Weiland, 2010). İyi çalışan bir biyogaz reaktöründen elde edilecek gazın kompozisyonu % 55-70 CH₄, % 30-45 CO₂ ve az miktarda H₂S, H₂O'dan oluşmaktadır. Genellikle organik maddenin % 40-% 60 kadarı biyogaza dönüştürülür ve bu dönüşümün son aşamasında üretilen biyogaz % 90'lara kadar saflaştırılır. Avrupa Birliği'nde üretim kaynaklarına göre isimlendirilerek doğrudan araç yakıtı olarak kullanılan biyogaz doğalgaza karıştırılarak da kullanılabilir. Biyogazın yanıcılığı, gaz karışımındaki metan yüzdesine göre değişmekle beraber yaklaşık 36000 kJ/m³'tür (Peavy ve Rowe, 1985).

Biyogaz, üretiminden sonra kullanılan atıklar çevreyi kirletmek yerine çok daha değerli ve organik tarım içinde gerekli olan bir gübre haline dönüşmektedir. Bu dönüşüm özellikle kırsal kesimde çevre sağlığını olumlu etkilemektedir (Chang ve ark. 2011). Ortamdaki organik atıklar iklim şartlarına bağlı olarak, sıcaklıkla doğal bir fermentasyona uğramakta ve gerek kokusu ve gerekse çevreye dağılan atık suyuyla istenmeyen görüntü, koku ve insan sağlığını tehdit edecek hastalıklara davetiye çıkarmaktadır. Bunun yerine bu atıklardan biyogaz üretimi sonucunda tarımsal ve hayvansal atıkların hem kokusu hissedilmeyecek ölçüde yok olmakta hem de bu atıklardan kaynaklanan ve insan sağlığını tehdit eden hastalık etmenleri büyük oranda etkinliğini kaybetmektedir (Toklu ve ark. 2010).

Daha önce yapılan bir çalışmada, Türkiye ve özellikle Bursa Bölgesi için domates ve bezelye gibi tarımsal atıklar için iki ayrı senaryo üzerinde çalışılmış, daha sonra bu senaryoların enerji üretimi üzerindeki etkilerini incelenmiş, biyogaz üretimi, elektrik ve ısı üretimi için analizler yapılmıştır (Ulusoy ve ark. 2009). Yine tarımsal ve hayvansal kaynaklı atıklardan biyogaz üretimi ve elde edilen gazın enerji dönüşüm teknolojilerinde

kullanılması amacıyla yapılan başka bir çalışmada Bursa ve çevresinin önemli bir sorunu olan zeytin atığı ve karasuyunu incelenmiştir. Zeytin atığı, karasu ve sığır, koyun, bıldırcın gibi çeşitli gübreler anaerobik ortamda fermente edilmiş, çalışmanın sonunda elde edilen biyogaz belirlenen parametrelere göre değerlendirilmiştir (Ulukardeşler ve ark. 2010).

Bu çalışmada; Bursa ilindeki farklı tarımsal ve hayvansal kaynaklı organik atıklardan biyogaz üretilebilirlik potansiyeli ve elde edilebilecek gazın entegre enerji dönüşüm teknolojilerinde kullanılmasının analizi yapılarak elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışma; birinci aşamada Bursa ili endüstriyel ve tarımsal organik atık hammadde potansiyeli analizleri ile biyogaz verimlerinin tespiti ve ikinci aşamada ise üretilen biyogazın dizel motorlarında kullanımı ve elektrik enerjisine dönüşüm kapasitelerinin tespitine yönelik olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bursa İli Kullanılabilir Biyogaz Potansiyelinin Tespiti;

Bursa ili kullanılabilir biyogaz potansiyelinin tespiti için; büyük, küçükbaş ve kanatlı atıkları olmak üzere hayvansal atıklar, domates posası, bezelye atıkları ve posası, zeytin posası ve karasuyu, vb tarımsal atıklar, endüstriyel atıklar ve evsel organik katı atıklar, kentsel organik atıklar kullanılmıştır. Alan çalışması için, TUIK, Bursa Tarım İl Müdürlüğü ve Bursa Büyükşehir Belediyesi kentsel arıtma atıklarının biyogaza dönüşüm verileri analiz edilmiştir. Bu verilerden hareketle değerlendirilebilecek organik madde ile elde edilebilecek biyogaz miktarları ve elektrik enerjisine dönüşüm kapasiteleri hesaplanmıştır (Ulusoy ve ark. 2013).

Tarımsal Atık Envanteri

Bursa ilinde özellikle Karacabey ve Mustafakemalpaşa ilçelerinde tarıma dayalı çalışan konserve fabrikaları bulunmaktadır. Bu bölgede başta domates salçası ve bezelye konserve olmak üzere 10'un üzerinde büyük ölçekli fabrika bulunmaktadır. Bu fabrikalardan dönemsel olmakla birlikte yoğun posa ve atık çıkmaktadır. Her fabrikadan ortalama 10-15 bin ton atığın çıkmakta ve bunun da küçük bir kısmı bölgedeki çiftliklerde hayvan yemi olarak değerlendirilmekte, kalan kısmı ise çöplüklere veya yerel ayıklama bölgelerinde bırakılmaktadır. Dolayısı ile tarımsal atık potansiyelinin özellikle domates, bezelye gibi konserve olarak işlenen ürünlerin yüksek olması kurulan ve kurulacak olan biyogaz tesisleri için önemli bir hammadde olduğu söylenebilir. Çizelge 1'de Bursa ve Türkiye'deki tarımsal atık verileri görülmektedir.

Hayvansal Atık Envanteri

Türkiye'de hayvancılık sektörü genelde, küçük çaplı çiftliklerden oluşmaktadır. Düşük verimli yerli türler çoğunlukla, çayır ve meralarda otlatılır ve küçük hayvancılık işletmeleri yüksek üretim maliyetleri ve düşük verimlere sahiptir. Türkiye'de hayvansal atıklara dair problem, atığın toplanması işlemleri ile birlikte başlar ve hayvan atıklarının en yaygın

kullanım ya da bertaraf yöntemi tarlaya serme ya da atık kabul ederek boş sahalara dökmedir.

Çizelge 1. Bursa ve Türkiye'deki tarımsal atıklar (TÜİK, 2012)

	Üretim		Posa Miktarı (Ton)		Biyogaz (m ³ /yıl)		Enerji Eşdeğeri (Tj/yıl)	
	Bursa	Türkiye	Bursa	Türkiye	Bursa	Türkiye	Bursa	Türkiye
Buğday	231.372	21.800.000	279.801	24.471.328	97.370.844	8.516.022.161	2.045	178.836
Mısır	159.507	4.200.000	241.903	8.717.200	110.307.786	3.975.043.200	2.316	83.476
Mısır silajı	906.470	15.258.471	906.470	15.258.471	172.229.300	2.899.109.490	3.617	60.881
Pirinç	18.272	900.000	10.963	596.400	5.192.172	282.455.040	109	5.932
Arpa	24.892	7.600.000	22.360	5.497.533	9.257.040	2.275.978.579	194	47.796
Ayçiçeği	19.064	1.335.000	39.272	2.750.100	4.123.543	288.760.500	87	6.064
Ş. pancarı	85.544	16.126.489	59.881	11.288.542	26.317.612	4.961.314.341	553	104.188
Patates	38.459	4.648.081	17.307	2.091.636	1.739.308	210.209.463	37	4.414
Bezelye	223.979	223.979	2.239.790	2.239.790	156.785.300	156.785.300	3.292	3.292
Domates	1.198.320	10.052.000	952350	4.523.400	53.331.600	253.310.400	1.120	5.320
Toplam	100%		4.770.097	77.434.401	636.654.505	23.818.988.475	13.370	500.199
Değerlenme Oranı	50%		2.385.048	38.717.200	318.327.252	11.909.494.237	6.685	250.099
	10%		477.010	7.743.440	63.665.450	2.381.898.847	1.337	50.020

Bursa ilinde süt sığırcılığının hayvansal atık kaynakları açısından yoğun olduğu görülmektedir. Özellikle gıda sektörüne yönelik sabit tesislerin ve hayvansal üretime yönelik işletmelerdeki hayvan sayısının fazla olması ve yine hayvansal atıkların toplanabilirliğinin %90 oranlarında olması bölgede çok sayıda biyogaz tesisinin kurulabileceğini göstermektedir. Hâlihazırda bu durumun farkında olan birçok girişimcinin biyogaz tesisi kurabilmek için çalışmalar yaptığı görülmektedir. Çizelge 2'de Bursa ve Türkiye'deki hayvansal atık envanteri görülmektedir. Çizelgeden hareketle Türkiye ve Bursa'daki hayvansal atık kapasitesi karşılaştırıldığında sığır, tavuk ve koyun ağırlıklı sıralandığı ancak Bursa ilinde tavuk atıklarının yüzdesel dağılımının ağır bastığı görülmektedir. Bu durum bölgede kurulu iki biyogaz tesisinin birinin büyükbaş hayvan atığı diğerinin ise tavuk atığı kullanımı amacıyla kurulmuş olması ile de doğrulanmaktadır.

Bursa İli Kentsel Atık Envanteri

Bursa Büyükşehir Belediyesince 2014 yılında yapılan kentsel atık envanteri çalışmasında kent sınırları içerisinde toplanabilen organik atıklar gruplandırılmış ve kapasiteleri tespit edilmiştir. Buna göre, Bursa ili yaklaşık 100.000 ton/yıl arıtma çamuru başta olmak üzere, farklı kaynaklardan elde edilen organik katı atık toplama kapasitesine sahiptir.

Bu atık kaynakları sırayla kent atıklarının arıtılması sonucu elde edilen arıtma çamuru, pazar yeri atıkları, park ve bahçe atıkları, hal atıkları ve gıda sanayii atıkları olarak belirlenmiştir. Bu atıklardan elde edilecek metan miktarı hammadde cinsi ve miktarına göre değişimler birlikte toplamda 1.000.000 Nm³/yıl olarak hesaplanabilir.

Çizelge 2. Bursa ve Türkiye’deki hayvansal atıklar (TÜİK, 2012)

	Atık (ton/hayvan*yıl)		Biyogaz (m ³ /yıl)		Enerji Eşdeğeri (Tj/yıl)	
	Bursa	Türkiye	Bursa	Türkiye	Bursa	Türkiye
Sığır	622.278	40.931.280	20.535.174	1.350.732.240	431,239	28.365
Manda	3.128	305.014	103.237	10.065.449	2,168	211
Koyun	196.411	16.162.784	11.391.832	937.441.455	239,228	19.686
Keçi	67.161	4.405.263	3.895.326	255.505.260	81,802	5.366
Tavuk	174.750	5.168.196	13.630.497	403.119.288	286,240	8.466
Hindi	177	89.210	13.833	6.958.380	0,290	146
Toplam	1.063.905	67.061.746	49.569.899	2.963.822.071	1.041	62.240
Değerlendirme 50% Oran 10%	531.953	33.530.873	24.784.950	1.481.911.036	520	31.120
	106.391	6.706.175	4.956.990	296.382.207	104	6.224

Bu miktar metan gazı literatür değerlerine göre Bursa bölgesinde 640.000 Nm³/yıl doğal gaza eşdeğer üretim yapılabileceği anlamına gelmektedir. Yine bu üretim miktarı ile 7.315.000 kWh’lik elektrik ve 7.022.400 kWh’lik ısı elde edilebilecektir. Bu değer yaklaşık olarak 14000 evin elektrik ve ısı ihtiyacını karşılayabilecek kapasiteyi ifade eder. Bu durumda, çevreyi kirleten atıkların belirli bir maliyetle imhası yerine, ülke ekonomisine önemli bir katkı sağlanabileceğini söylemek mümkündür.

Türkiye’deki ilk olarak metan gazından elektrik enerjisi üreten tesis Bursa’da Demirtaş çöp depolama alanına kurulmuştur. Depolama sahasında açılan 51 adet gaz kuyusundan çekilen gazdan elektrik enerjisi üretilmektedir. Sahadan çıkan yaklaşık % 45-55 arasında bulunan metandan 1.4 MW/h kapasitesinde elektrik enerjisi üretilmiş ve TEDAŞ'a satışı gerçekleştirilmiştir. Bursa Büyükşehir Belediyesi tarafından Hamitler Katı Atık Depolama Alanında, oluşan metan gazını elektrik enerjisine çevirecek tesis faaliyete geçirilmiştir. Üretilen enerjinin yüzde 41'ine sahip olacak olan Büyükşehir Belediyesi, fizibilite çalışmalarına göre yıllık 1,5 milyon lira gelir sağlamayı planlamaktadır. Bölgede oluşan metan gazından 29 yılda yaklaşık 1 milyar kilovat saat enerji üretilmesi beklenmektedir (BEBKA, 2014).

Demirtaş çöp toplama sahasında 1998 yılında başlayan elektrik üretiminden ilk iki yıl yüzde 3, kalan yıllarda ise yüzde 6 oranında pay alan Büyükşehir Belediyesi Hamitler Katı Atık Depolama sahasında kurulan tesiste payını yüzde 41'e çıkartmıştır. Yaklaşık 10 milyon TL'ye mal olan yatırımın ardından saatte 4 bin 800 kilovat yani yaklaşık 22 bin konutu aydınlatabilecek elektrik üretimi sağlanmaktadır. İlave yatırımlarla bu miktarın 9.800 kW olması hedeflenmektedir (www.bursa.bel.tr)

Çizelge 3'teki Bursa'daki kentsel atık envanteri veriler incelendiğinde, değerlendirilmesi ve işlenmesi zorunlu olan kentsel atık arıtımı sonucunda ortaya çıkan çamur ve diğer kentsel atıklar düşünüldüğünde, yukarıdaki verilerden hareketle Bursa ilinde kapasitesi yadsınmayacak bir potansiyelin olduğu görülmektedir. Sadece atık çamuru ve pazaryeri atıklarının değerlendirilmesi halinde kentsel atıkların %82 si değerlendirilmiş olmaktadır.

Çizelge 3. Bursa'daki kentsel atıklar

	Ton	Kuru Madde (Ton)	Organik kuru madde (Ton)	Metan üretimi (Nm ³)	Enerji eşdeğeri (Tj/yıl)
Atık çamuru	80.000	4.800	3.154	402.306	8.45
Pazaryeri atığı	12.000	1.980	1.643	376.470	7.91
Park atığı	5.595	951	856	196.460	4.13
Sebze atığı	1.892	284	253	57.861	1.22
Yemek atığı	92	16	15	5.323	0.11
Hayvanat bahçesi atığı	100	31	25	5.422	0.11
Toplam	19.679	3.262	2.794	641.536	13.47
Genel toplam	99.670	8.062	5.947	1.043.842	21.92
Katı madde	16.209	4.052			
Sıvı madde	81.332	1.872	1.203.836	127.5 litre CH₄/kgOM	

Biyogazın Dizel Motorlarda Yakıt Olarak Kullanımının İncelenmesi;

Farklı tarımsal organik atık hammaddelerinden elde edilen biyogazın enerji verimlerinin tespiti için bu yakıtların dizel motorlarında kullanımı ve motor performansına etkilerinin incelenmesi gerekir. Bu amaçla 4 silindirli 4 zamanlı direkt enjeksiyonlu ve 48 BG güce sahip bir dizel motoru üzerinde biyogaz (metan) kullanımına imkan verecek dönüşüm kiti bağlanmış ve motor SCHENK marka dinamometrede dizel yakıtı ve biyogaz ile çalıştırılarak performans-emisyon ölçümleri yapılmıştır.

Yine araştırmada dizel yakıtı ve farklı saflık değerine sahip biyogaz (metan) hibrit yakıt olarak kullanılmıştır. Üretilen biyogaz %65 metan-%35 CO₂ içeriğine sahiptir. Bu yakıtı doğrudan kullanmak yerine, doğalgaz dönüşümü yapılan araçlarda kullanılan ve içerisinde %90-95 metan içeren doğalgaz yakıtı kullanılarak benzetim yapılmıştır. Bu yöntemin seçilme nedeni gerek dünyada giderek yaygınlaşan biyogazın saflaştırılarak doğalgaza dönüştürülerek kullanımı ve gerekse motorlarda direkt olarak biyogaz kullanımının yüksek proje maliyetlerine neden olmasıdır.

Elde edilen ilk performans test sonuçları içten yanmalı motorlarda biyogaz kullanımı literatür değerlerine paralel sonuçlar vermiş ve Biyogaz + dizel yakıtı karışımı rölanti veya yüksüz çalışmada motor performans değerlerinde olumlu etkilerinin yanı sıra, yakıt tüketiminde de azaltıcı etkileri gözlenmiştir. Biyogazın yaygın olarak elektrik üretiminde kullanılmasının yanı sıra % 20-30 oranında biyogazın araçlarda alternatif yakıt olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir. Çalışma motor testlerinin farklı oranlarda metan kullanımı ve farklı atık türlerine göre elde edilen biyogazın verimlilik testleri ile sürdürülecektir.

Sonuç olarak, iklim değişikliklerinin göz önüne alındığı, temiz ve verimli enerji kullanımının ön plana çıktığı çevresel hassasiyetlere ek olarak, Bursa ili, enerji ihtiyacı her geçen gün kendisini daha fazla hissettirmekte olan endüstriyel, ekonomik, sosyo kültürel büyüklüklere ulaşmıştır. Bununla birlikte sanayileşme ile görülen çevresel problemler sadece kaynakların tüketilmesinden değil, aynı zamanda bu kaynakların nasıl tüketildiği ya da ne oranda geri kazanılabildiği ile de ilgilidir.

Bu bağlamda, günümüzde tarımsal ve endüstriyel organik atıkların yeterince değerlendirilememesi önemli bir sorun olarak görülmekle birlikte, bu alandaki gelişmelerin ümit verici olduğu ve özellikle Bursa ili özelinde tüketilmekte olunan doğalgaz, dolayısı ile de elektrik üretiminde hatırı sayılır bir kazancın sağlanacağı görülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Birimi'nin KUAP(TBMYO)-2013/88 numaralı projeye verdiği destekle gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- BEBKA, 2014, Bursa Eskişehir Bilecik Bölge Planı 2014-2023.
- Chang, I.S., J. Zhao, X. Yin, J. Wu, Z. Jia, L. Wang. 2011. Comprehensive utilizations of biogas in Inner Mongolia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15: 442-1453.
- <http://www.bursa.bel.tr/hamitler-coplugu-koku-degil-isik-saciyor/haber/10363>
- Peavy, H.S., D.R. Rowe, G. Tchobanoglous. 1985. *Environmental Engineering*, Mc Graw Hill Book Company, New York.
- Toklu, E., M.S. Güney, M. Isik, O. Comaklı, K. Kaygusuz. 2010. Energy production, consumption, policies and recent developments in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14: 1172–1186
- Ulukardeşler, A.H., Y. Ulusoy, Z. Tümsavaş. 2010. Marmara Bölgesi'ndeki Zeytin Atığı ve Zeytin Karasuyundan Anaerobik Fermentasyon ile Biyogaz Üretimi, 22-25 Haziran 2010, Ankara, 9. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi.
- Ulusoy, Y., A.H. Ulukardesler, H. Unal, K. Alibas. 2009. Analysis of Biogas Production in Turkey Utilising Three Different Materials and Two Scenarios, *African Journal of Agricultural Research*, 4(10): 996-1003.
- Ulusoy, Y., A.H. Ulukardesler, R. Arslan, R. Arslan. 2013. Biogas production from agricultural wastes in Turkey- A case study, 5th International Conference on Trends in Agricultural Engineering Proceedings Book, 3-6 September 2013, Prague, Czech Republic, 627-631.
- Weiland P. 2010. Biogas production: current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85:849-860.
- White, A.J., D.W. Kirk, J.W. Graydon. 2011. Analysis of small-scale biogas utilization systems on Ontario cattle farms. *Renewable Energy*, 36:1019-1025.
- Yadvika, T.R. Santosh, S. Sreekrishnan, V. Rana Kohli, 2004. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques- a review. *Bioresource Technology*, 95: 1–10.

