

**BİYOĞAZ, GÜNEŞ VE TOPRAK ENERJİSİ KAYNAKLI
SERA ISITMASININ ARAŞTIRILMASI**

Tahsin YÜKSEL

**Doktora Tezi
Makine Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Mehmet ESEN**

OCAK-2011

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİYOĞAZ, GÜNEŞ VE TOPRAK ENERJİSİ KAYNAKLI
SERA ISITMASININ ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Tahsin YÜKSEL

(99219202)

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 24 Ocak 2011
Tezin Savunulduğu Tarih: 16 Şubat 2011**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet ESEN (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Cengiz YILDIZ (F.Ü)
Prof. Dr. Yasin VAROL (F.Ü)
Doç. Dr. Hüsamettin BULUT (HR. Ü)
Yrd. Doç. Dr. Celal SARSILMAZ (F.Ü)

OCAK-2011

ÖNSÖZ

Enerji, insanların vazgeçilmez ihtiyacı haline gelmiştir. Ancak günümüzde artan enerji ihtiyaçlarının büyük oranda fosil kökenli enerji kaynaklarından tedarik edilmesi yakın gelecekte önemli enerji sıkıntılarına sebep olacaktır. Bu enerji kaynaklarının yakın gelecekte tükenecek olmaları, çevreyi kirletmeleri, küresel ısınmaya sebep olmaları, pahalıya mal olmaları gibi sakıncaları yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmenin gerekli olduğunu göstermektedir. Sera yetiştiriciliğinde ısıtma giderlerinin % 20-60'lık bir paya sahip olduğu düşünülürse bu konu daha fazla önem arz etmektedir.

Bu tezde; elde edilmesi kolay, çevre dostu ve ucuz olan yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan biyogaz, güneş ve toprak enerjisi kaynaklarını kullanarak sera ısıtılması amaçlanmaktadır. Biyogaz, güneş ve toprak enerjisi kaynaklarının tanıtımı yapılarak elde edilme ve kullanılma şekilleri hakkında çalışma yapılmıştır. Tasarımı ve kurulumu yapılan sistemlerle enerji elde edilerek, bunların kullanımı neticesinde ortaya çıkan sonuçlar grafiklerle gösterilerek karşılaştırmalar yapılmıştır.

Çalışmamın bu aşamaya gelmesinde bilgi, yardım ve desteklerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Mehmet ESEN'e ve değerli arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) tarafından 1827 nolu proje olarak desteklenmiştir. Desteklerini esirgemeyen kamu kurum ve kuruluşlarına teşekkür ederim.

Bu ve benzeri çalışmaların daha da artarak devam etmesi ve ülke ekonomisine katkı sağlaması temennisi ile çalışmamın konuyla ilgilenen herkes için faydalı olmasını dilerim.

Tahsin YÜKSEL
ELAZIĞ – 2011

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER LİSTESİ	X
TABLolar LİSTESİ	XIII
SEMBOLLER LİSTESİ	XIV
KISALTMALAR	XV
1. GİRİŞ	1
1.1. Biyogaz	7
1.1.1. Biyogazın Önemi ve Kaynakları	12
1.1.2. Biyogazın Tanımı ve Özellikleri	15
1.2. Biyogazın ve Elde Edilen Gübrenin Kullanımı	18
1.2.1. Isıtmada Kullanım	18
1.2.2. Aydınlatmada Kullanım	20
1.2.3. Taşıtlarda Kullanım	22
1.2.4. Fermente Gübrenin Kullanımı	23
1.3. Biyogaz Tesisi Kurulumu	24
1.3.1. Biyogaz Tesisi Kurulumunda Dikkat Edilecek Hususlar	25
1.3.2. Biyogaz Tesisinin Kapasite Tespiti	28
1.3.2.1. Günlük Ortaya Çıkan Gübre Miktarı	28
1.3.2.2. Hayvanların Beslenme Şekilleri	29
1.3.2.3. Gübredeki Katı Madde Oranı	29
1.4. Biyogaz Üretimi	31
1.4.1. Fermantasyon ve Hidroliz (Sıvılaştırma) Aşaması	32
1.4.2. Asetik Asidin Oluşumu	32
1.4.3. Metan Gazının Oluşumu	33
1.5. Biyogaz Oluşumunu Etkileyen Faktörler	33
1.5.1. Üreteç Sıcaklığı	34

1.5.2.	Reaktör Isıtma Sistemleri	36
1.5.2.1.	Güneş Enerjisi İle Biyogaz Isıtma Sistemleri.....	37
1.5.2.2.	Karıştırma Sisteminin Isıtılması	39
1.5.3.	Bekleme Süresi.....	40
1.5.4.	pH Değeri	41
1.5.5.	Toksosite	41
1.5.6.	C/N Faktörü	42
1.5.7.	Organik Madde Yükleme Hızı	42
1.5.8.	Katı Madde İçeriği.....	44
1.5.9.	Karıştırma.....	45
1.6.	Biyogaz Üretiminde Atık Karıştırma.....	46
1.6.1.	Atık Karıştırma Sistemleri.....	46
1.6.2.	Karıştırıcı Kanatları	48
1.6.2.1.	Radyal Kanat Çeşitleri.....	48
1.6.2.2.	Eksenel Kanat Çeşitleri	49
1.7.	Biyogaz Üretiminde Kullanılan Yöntemler	49
1.7.1.	Kesikli Fermantasyon Yöntemi.....	50
1.7.2.	Beslemeli - Kesikli Fermantasyon Yöntemi	51
1.7.3.	Sürekli Fermantasyon Yöntemi.....	51
1.7.4.	Biyogaz Üretici ve Kısımları	52
1.7.4.1.	Fermantör	52
1.7.4.2.	Besleme Rögarı	53
1.7.4.3.	Çıkış Rögarı.....	53
1.7.4.4.	Kapak ve Gaz Borusu.....	53
1.7.4.5.	Gübre Deposu.....	54
1.7.4.6.	Gazometre	54
1.8.	Biyogaz Üreteç Çeşitleri	55
1.8.1.	Küçük Hacimli Üreteçler.....	56
1.8.1.1.	Hareketli Kubbe Tipi.....	57
1.8.1.2.	Sabit Çatılı Çin Tipi	59
1.8.1.3.	Yüzer Çatılı Hindistan Tipi	61
1.8.1.4.	Torbalı Tip.....	62
1.8.1.5.	Balon Tipi.....	63

1.8.2.	Büyük Hacimli Üreteçler.....	64
1.8.2.1.	Tam Karışımli Reaktörler.....	65
1.8.2.2.	Piston Akımlı Reaktörler.....	65
1.8.2.3.	Lagun Tipi Reaktörler	67
1.8.2.4.	Centrigas Sistemi.....	68
1.8.3.	Biyogaz Depolama Sistemleri	70
1.9.	Isı Pompası.....	72
1.9.1.	Isı Pompası Termodinamiği	73
1.9.2.	Isı Pompalarının Çalışması.....	74
1.9.3.	Isı Pompası Kaynak Çeşitleri	76
1.9.3.1.	Çevre Havası	76
1.9.3.2.	Toprak	77
1.9.3.3.	Deniz, Nehir, Göl Suyu (Yüzey Suları)	82
1.9.3.4.	Yeraltı Suları	83
1.9.3.5.	Artık Gazlar	84
1.9.3.6.	Artık Isılar	85
1.9.3.7.	Jeotermal Enerji.....	85
1.9.3.8.	Güneş.....	86
1.10.	Toprak Isı Değiştiricisi Tipleri	87
1.10.1.	Serme (Yatay) Tip Isı Değiştiricisi	88
1.10.2.	Sondaj (Düşey) Tip Isı Değiştiricisi	89
1.10.3.	Boru Uygulamaları	90
1.10.4.	Boru Uygulamasında Kullanılacak Akışkanlar	91
1.10.5.	Toprak Su Kaynaklı Isı Pompalarının Çalışma Prensipleri.....	92
1.11.	Sera Isıtma	93
1.11.1.	Seracılığın Yararları	95
1.11.2.	Seraların Kurulumu	95
1.12.	Seraların Sınıflandırılması	97
1.12.1.	Büyüklüğüne Göre Sera Tipleri	97
1.12.2.	Orta Yastık Durumuna Göre Seralar	97
1.12.3.	Çatı ve Kuruluş Şekillerine Göre Seralar	98
1.12.4.	Sıcaklıklarına Göre Seralar	99
1.12.5.	İskelet Malzemelerine Göre Seralar	100

1.12.6. Örtü Malzemesine Göre Seralar	101
1.12.6.1. Cam	103
1.12.6.2. Plastik	103
1.13. Sera Planlamasında Etkili Çevre Koşulları	105
1.13.1. Işık	105
1.13.2. Yön	106
1.13.3. Sıcaklık	107
1.13.4. Nem	109
1.13.5. Toprak	110
1.13.6. Hava ve Karbondioksit	110
1.13.7. Diğer Etmenler	111
1.14. Seraların Isıtılması ve Soğutulması	112
1.14.1. Seraların Isıtılması	112
1.14.2. Seraların Soğutulması	114
1.15. Seraların Isı Gereksinimleri	115
1.15.1. Seradan Kaybolan Isının Belirlenmesi	116
1.15.2. Isı Kaybı İle İlgili Faktörler	117
2. MATERYAL VE METOT İLE BULGULAR	118
2.1. Sistemlerin İmal Edilmesi ve Kurulumları	121
2.1.1. Seradaki Isı Kaybı	121
2.1.2. Slinky (Spiral) Toprak Isı Değiştirgeci Kurulumu	122
2.1.3. Seranın Kurulumu	124
2.1.4. Biyogaz Üreteç İmalatı ve Kurulumu	126
2.1.5. Gazometre	129
2.1.6. Güneş Kollektörleri	131
2.1.7. Isı Pompası	132
2.1.8. Biyogazla Isıtma Sistemi Kurulumu	133
2.1.9. Sıcaklık Ölçümleri	134
2.2. Deneysel Çalışma	136
2.2.1. Biyogaz Üretimi	136
2.2.2. Biyogaz Sistemi İle Isıtma	139
2.2.3. Toprak ve Güneş Enerjileri İle Isıtma	141
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	151

4.	ÖNERİLER.....	153
	KAYNAKLAR.....	154
	ÖZGEÇMİŞ.....	159

ÖZET

Bu çalışmada amaç, biyogaz, güneş ve toprak enerjisi kaynaklı sera ısıtmasının Elazığ şartlarında kullanımını araştırmaktır. Bu amaçla biyogaz destekli, güneş enerjili ve yatay helezon (slinky) toprak ısı değiştiricili bir ısı pompası sistemi tasarlanarak kurulmuştur. Sistemin Elazığ iklim şartlarında sera ısıtmasında kullanımı deneysel olarak incelenmiştir.

Çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından enerjinin elde edilmesi ve sera ısıtmasında kullanımından bahsedilmiştir. Elazığ şartlarında biyogaz, güneş ve toprak enerjisi kaynaklarıyla desteklenen seranın ısıtması gerçekleştirilmiştir. Üretilen biyogazın yakılması ve ısı pompası uygulaması yapılarak ısıtma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ısı pompası sisteminde kullanılacak elemanların, biyogaz tesisinin tasarım ve imalatları yapılarak, kurulumları yapılmıştır. Söz konusu alternatif enerji kaynaklarıyla ısıtılacak sera kurulmuş, ısı kayıp ve kazançları hesaplanarak seranın gerekli ısıtma yükü belirlenmiştir. Güneşli ve güneşsiz şartlarda sistemlerin performanslarını hesaplamak için, sistemin değişik noktalarından sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Deneysel çalışma sonucundaki verilerle elde edilen değerler ışığında performanslar grafiklerle gösterilmiştir.

Bu çalışmada güneş enerjisinin sera ısıtmasında kullanım uygulamalarına da yer verilmiştir. Ancak güneş enerjisinin elde edildiği zamanlar ile yüksek ısı yüklerinin mevcut olduğu zamanlar genellikle birbirine uymadığından güneş enerjisinin kullanımı pek fazla mümkün olmamıştır.

Ayrıca toprak altındaki ısı değiştiricisinde dolaşan suya ısı geçişi toprak özelliklerini değiştirmektedir. Bu sebeplerden dolayı toprağın ısı performansları zamanla azalmaktadır. Özellikle gece saatlerinde ısı yükleri çok fazla artmaktadır. Biyogazla ısıtma sistemi bu gibi durumlarda tek başına veya yardımcı sistem olarak tasarlanmış ve kullanılmıştır.

Seranın ısı kayıpları, topraktan ve güneşten alınan ısı miktarları ve ısı enerjisi deposunda depolanmış halde bulunan enerji değerleri hesaplanmış ve grafiklerde verilmiştir. Elazığ iklim şartlarında alternatif enerji kaynaklarının kullanımı ile sera ısıtmanın mümkün olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sera Isıtma, Biyogaz, Slinky Toprak Isı Değiştirgeci, Güneş Enerjisi

SUMMARY

Investigation of Biogas, Solar and Ground Energy Assisted Greenhouse Heating

In this study, it is aimed to investigate greenhouse heating by biogas, solar and ground energy in Elazig climate conditions. For this purpose, biogas, solar-assisted and a ground source heat pump system with horizontal slinky ground heat exchanger was designed and set up. Using of the system in Elazig climate conditions for greenhouse heating was experimentally investigated.

In the study, it is mentioned extracting useful energy from renewable energy sources and using in greenhouse heating. Greenhouse heating was performed by biogas, solar and ground energy in Elazig conditions. Heating was carried out by burning of the produced biogas and heat pump application. In the study, the heat pump system and biogas plant were designed and set up. The greenhouse heated by mentioned alternative energy sources, was constructed, and then required heating load of the greenhouse was determined by calculating heat losses and gains of the greenhouse. In order to calculate the performance of the systems in sunny and sunless conditions temperature measurements were made in different points. The Performances of systems obtained from experiments were shown in graphics.

In this study, it is also investigated using solar energy for greenhouse heating. However, using solar energy was not almost possible due to mismatch between availability time of solar energy supply and availability time of heating load.

In addition, the heat extracting from ground by circulating water through ground heat exchanger changes soil properties and thus gradually decreases the thermal performance of ground. Especially at night, thermal loads are increasing too much. In these cases, heating system with biogas was used as a stand-alone system or secondary system.

Greenhouse heat losses, heat energy extracting from soil and the sun, and stored heat energy in storage tank were calculated and given in graphs. Using of alternative energy sources in Elazig climate conditions for greenhouse heating is possible and has been identified.

Key Words: Greenhouse Heating, Biogas, Slinky Ground Heat Exchanger, Solar Energy.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Küçük kapasiteli tesislerde basit nem yoğunlaştırma tekniği	16
Şekil 1.2. Biyogazın sera ısıtılmada kullanımı	19
Şekil 1.3. Biyogaz alevi	19
Şekil 1.4. Yemek pişirmede kullanılan biyogaz ocakları.	20
Şekil 1.5. Biyogaz ile elektrik üreten jeneratör.	21
Şekil 1.6. Biyogaz ile çalışan lamba.....	21
Şekil 1.7. Biyogaz ile çalışan otomobil	22
Şekil 1.8. Biyogazı yıkama yöntemi.....	23
Şekil 1.9. Sıvı gübre ve tarlaya sıvı halde uygulama şeklinden görüntüler	23
Şekil 1.10. Havuzlarda suyu alınan ve granül haldeki gübre.	24
Şekil 1.11. Sabit kubbeli (Çin tipi) biyogaz tesisi.	27
Şekil 1.12. Güneş enerjisi ile biyogaz tesisinin ısıtılması	27
Şekil 1.13. Bakteri gruplarının oluşum kademeleri	31
Şekil 1.14. Sera ile entegre edilmiş biyogaz sistemi	37
Şekil 1.15. Güneş enerjisi destekli biyogaz sistemi.	38
Şekil 1.16. Güneş havuzu destekli biyogaz sistemi.....	39
Şekil 1.17. Karıştırma sisteminin ısıtılması.....	39
Şekil 1.18. Alt ve üst karıştırmalı çift kanatlı karıştırıcı görüntüleri.....	46
Şekil 1.19. Alt ve üst karıştırmalı çift karıştırıcı	47
Şekil 1.20. Çift pervaneli karıştırıcı ile yandan karıştırma	47
Şekil 1.21. Çok kanatlı karıştırıcı ile yatay karıştırma sistemi	47
Şekil 1.22. Dikdörtgen fermenterde kanatlı karıştırıcı ile yatay karıştırma sistemi	48
Şekil 1.23. Radyal karıştırıcılar.	48
Şekil 1.24. Eksenel karıştırıcılar.	49
Şekil 1.25. Kesikli fermantasyon tankı.....	50
Şekil 1.26. Biyogaz üreticinin kısımları	52
Şekil 1.27. Yüzer tip gazometre	54
Şekil 1.28. Sabit kubbeli reaktör dizaynı.....	55
Şekil 1.29. Reaktörlerde besi maddesi hareketi.....	57
Şekil 1.30. Hareketli kubbe tipi reaktör.....	58
Şekil 1.31. Sabit çatılı Çin tipi reaktör	59
Şekil 1.32. Sabit çatılı Çin tipi reaktörde gaz dolması ve boşalması.....	60
Şekil 1.33. Biyogaz üreteç inşasından görüntüler	60
Şekil 1.34. Yüzer çatılı Hindistan tipi reaktör	61
Şekil 1.35. Torba tipi (Tayvan-Çin) reaktör	62
Şekil 1.36. Torbalı tip üreteç görüntüleri	63

Şekil 1.37. Yatay balon tipi reaktör	64
Şekil 1.38. Tam karışımli anaerobik arıtma tesislerinden görüntüler	65
Şekil 1.39. Piston akımlı reaktörler	65
Şekil 1.40. Piston akımlı reaktörden görüntüler	66
Şekil 1.41. Lagun tipi reaktör	67
Şekil 1.42. Centrigas sistemi şeması	68
Şekil 1.43. Centrigas sisteminden görüntüler	69
Şekil 1.44. Sabit kubbeli biyogaz reaktörü ve gaz basınçlandırma prensibi	70
Şekil 1.45. Hareketli kubbeli biyogaz reaktörü	71
Şekil 1.46. Torba tipi gazometre	71
Şekil 1.47. Çift membran çatılı biyogaz reaktörü	72
Şekil 1.48. Isı pompası prensip şeması	73
Şekil 1.49. Isı pompası çevrim şeması	74
Şekil 1.50. Hava kaynaklı ısı pompası	76
Şekil 1.51. Toprak kaynaklı ısı pompası	79
Şekil 1.52. Sole sistemli ısı pompası	79
Şekil 1.53. Yer altı kaynaklı ısı pompası	84
Şekil 1.54. Serme (yatay) tipi	87
Şekil 1.55. Yatay tipte seri ve paralel ısı değıştiricileri	88
Şekil 1.56. Sondaj Tipi	89
Şekil 1.57. Düşey tipte seri ve paralel ısı değıştiriciler	90
Şekil 1.58. Toprak su kaynaklı ısı pompası sisteminin şeması	92
Şekil 1.59. Tek çatılı sera görünümü	98
Şekil 1.60. İki çatılı sera görünümü	99
Şekil 1.61. Doğu-batı yönlü çeşitli sera görüşleri	107
Şekil 1.62. Seradan meydana gelen ısı kayıp ve kazançları	116
Şekil 2.1. Deney düzeneğinin şematik olarak görüşü	120
Şekil 2.2. Slinky (spiral) olarak serilmiş boru görüntüsü	123
Şekil 2.3. Boru hizasına yerleştirilmiş olan ısı çiftler	123
Şekil 2.4. Seranın şematik görünümü	124
Şekil 2.5. Sera iskeletinin kurulumu	124
Şekil 2.6. Polikarbonun sera iskeletine montajı	125
Şekil 2.7. Seranın bitmiş hali	125
Şekil 2.8. Biyogaz üreteç tankı (fermantör)	126
Şekil 2.9. Biyogaz üretecinin detaylı şekli	127
Şekil 2.10. Biyogaz tankının çukura yerleştirilmesi	128
Şekil 2.11. Biyogaz tankının dış ortamdan yalıtılması	128
Şekil 2.12. Gübre karıştırıcı motor düzeneği ve koruyucu kutu	129
Şekil 2.13. Gazometre detay resmi	130
Şekil 2.14. Gazometre kabından görüntüler	131
Şekil 2.15. Güneş kollektörleri	131
Şekil 2.16. İmal edilen ısı pompası sisteminden görüntüler	133
Şekil 2.17. Sera içi biyogaz ısıtma sistemi	133

Şekil 2.18. Biyogazın alevi.....	134
Şekil 2.19. Sera ve ısı pompası odası yerleşim planı	135
Şekil 2.20. Üretilen biyogaz miktarı.....	138
Şekil 2.21. Reaktör, dış ortam, toprak sıcakları ve üretilen gaz miktarı karşılaştırması ...	138
Şekil 2.22. 12-13 Şubat'taki ısı kaybı değerleri	139
Şekil 2.23. 12-13 Şubat biyogazla ısıtma esnasındaki parametrelerin karşılaştırması	139
Şekil 2.24. 12-13 Şubat tarihi için güneş ışınlamındaki değişim	140
Şekil 2.25. Aylara göre 200 cm derinlikte ölçülen toprak sıcaklıkları	142
Şekil 2.26. Derinliğe göre Şubat ayı toprak ve hava günlük ortalama sıcaklık değişimleri	143
Şekil 2.27. 21-22 Mart günlerinde tespit edilen sera içi ve hava sıcaklıklarındaki değişim	143
Şekil 2.28. 21-22 Mart günlerinde güneş ışınlamındaki değişim.....	144
Şekil 2.29. Mart ayı hava, sera ortamı ve 200 cm'deki toprak ortalama sıcaklık değişimleri	144
Şekil 2.30. 200 cm toprak, topraktan geliş ve toprağa dönüş su sıcaklık değişimleri (21-22 Mart).....	145
Şekil 2.31. 200 cm toprak, topraktan geliş ve depo su sıcaklık değişimleri (21-22 Mart)	145
Şekil 2.32. Fan üfleme, sera ve dış hava sıcaklıklarındaki değişim	146
Şekil 2.33. 21-22 Mart'taki ısı kaybı değerleri.....	147
Şekil 2.34. Isı pompası COP değerleri (21-22 Mart).....	148
Şekil 2.35. Sistem COP değerleri (21-22 Mart)	149
Şekil 2.36. Isı pompası ve sistem COP değerlerinin değişimi	149
Şekil 2.37. Depo sıcaklığı ile COP değerlerindeki değişim	150

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Gelişmekte olan ülkelerde biyogaz tesisi sayısı	8
Tablo 1.2. Avrupa topluluğu ülkelerinde biyogaz tesisi.....	9
Tablo 1.3. OECD ve Avrupa Birliği ülkelerinde kurulu enerji gücü ve kişi başına düşen enerji miktarı	11
Tablo 1.4. Çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve biyogazdaki metan miktarları.....	14
Tablo 1.5. Doğalgaz ve biyogazın karşılaştırması.....	17
Tablo 1.6. Biyogazın diğer yakıtlarla karşılaştırılması (biyogaz metan miktarı:%60)	18
Tablo 1.7. Birim gübre ağırlığı başına biyogaz oluşumu ve seyreltme oranı.....	28
Tablo 1.8. Hayvan sayılarına göre tesis büyüklüğü, gerekli gübre miktarı, biyogaz miktarı ve eşdeğer LPG miktarı	30
Tablo 1.9. Sığır ve tavuk gübrelerinin değişik sıcaklıklarda biyogaz verimleri.....	36
Tablo 1.10. Organik maddelerin C/N oranı	43
Tablo 1.11. Yaygın olarak kullanılan ısı kaynakları	77
Tablo 1.12. Elazığ ili için 2009 – 2010 yılı toprak sıcaklık değerleri	80
Tablo 1.13. 100 cm derinlikteki toprak ve dış hava sıcaklıklarının kıyaslanması.....	81
Tablo 1.14. Boru Çapına Göre Boru Uzunluğu.....	91
Tablo 1.15. İnşaat faktörü (f_c).....	101
Tablo 1.16. Sera inşaatı malzeme termal dirençleri	102
Tablo 1.17. Bazı bitkilerin yetiştirme devrelerinde istedikleri optimum sıcaklıklar	108
Tablo 1.18. Seralarda yetiştirilen bazı sebzeler için en uygun iç ortam sıcaklıkları	109
Tablo 1.19. Rüzgâr veya ısı faktörü (f_w)	111
Tablo 1.20. 2009-2010 yılında ay içerisindeki en yüksek rüzgâr hızları (km/h).....	112
Tablo 1.21. Sistem tanımlama faktörü (f_s)	113

SEMBOLLER LİSTESİ

A	: Sera yüzey alanı, (m ²)
A ₁ , A ₂	: Değişik komponentlerin yüzey alanı, (m ²)
c _p	: Özgül ısı, (kJ/kg K)
CH ₄	: Metan
CO ₂	: Karbondioksit
COP _{ip}	: Isı pompası performans katsayısı
COP _{sis}	: Sistem performans katsayısı
C/N	: Karbon Azot Oranı
C	: Karbon
N	: Azot
d	: Dakika
dev	: Devir
f _w	: Rüzgar veya ıslın faktörü
f _c	: Sera inşaat tipi veya kalite faktörü
f _s	: Sistem faktörü
h	: Saat
H	: Hidrojen
H ₂ O	: Su
HP	: Beygir gücü
H ₂ S	: Hidrojen sülfür
kcal	: Kilo kalori
kg	: Kilogram
l	: Litre
$\dot{m}$	: Kütleli debi (kg/s)
m	: Metre
m ³	: Metre küp
NH ₃	: Amonyak
O ₂	: Oksijen
pH	: Asitlik bazlık değeri
R	: Örtü malzemesi ısı direnci, (m ² °C/W)
R ₁ , R ₂	: Komponentlerin ısı dirençleri, (m ² °C/W)
R22 (CHClF ₂)	: Klorodifloro metan
Q	: Sera ısıtmada toplam ısı miktarı, (kW)
Q _K	: Seradan kaybolan ısı miktarı, (kW)
Q _G	: Güneş enerjisinden elde edilen ısı miktarı, (kW)
Q _{sıc}	: Sıcak kaynak ısı miktarı, (kW)
Q _{soğ}	: Soğuk kaynak ısı miktarı, (kW)
T _i	: İç ortam sıcaklığı, (°C)
T _o	: Dış ortam sıcaklığı, (°C)
V	: Hacim, (m ³)
W _{net}	: Net iş, (kW)

KISALTMALAR

LPG	: Likit Petrol Gazı
HBS	: Hidrolik Bekleme Süresi
MAM	: Marmara Araştırma Merkezi
OECD	: Organisation for Economic Co-operation and Development
vd	: ve diğerleri
PVC	: Poli Vinil Klorür
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
RSI	: İnşa materyalinin metrik sistemde ısı direnci
SPF	: Mevsimlik Performans Faktörü
MEGEP	: Mesleki Eğitimi Geliştirme Projesi
XPS	: Ekstrude Polistren

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun hayat standartlarını yükselten teknoloji, yaşamı kolaylaştırmasının yanı sıra ihtiyaç duyulan enerji tüketimini de arttırmaktadır. Bu durum artan dünya nüfusu ile beraber üretilen enerji ihtiyacının da artmasına neden olmaktadır. Tüketim ihtiyacına karşılık üretim ihtiyacının artması dünya üzerindeki enerji kaynaklarının aşırı şekilde kullanılmasına ve yakın bir gelecekte tükeneceği bilinen fosil kökenli enerji kaynaklarına olan ihtiyacı da arttırmaktadır. Bunun yanı sıra tahrip edilen ve edilmekte olan doğal dengenin dünya üzerindeki iklim ve sıcaklık değişikliklerine neden olması, fosil kökenli enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması ihtiyacını doğurmuştur. Diğer taraftan yapılan ve yapılmakta olan çalışmalarla, insanoğlu çevreye dost, yenilenebilir alternatif enerji kaynaklarının daha etkin bir şekilde kullanılması yönünde özendirilmediği takdirde büyük bir enerji dar boğazı kaçınılmaz olacaktır.

1970’lerde baş gösteren enerji dar boğazının ardından günümüzdeki durum itibari ile enerji üretiminde kullandığımız fosil kaynakların çevresel sakıncaları ve kısıtlı olmaları, bizleri kısıtlı olmayan yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek gerektiğini açık bir şekilde göstermiştir. Bu yönelimlerin bir kısmında güneş, rüzgâr, toprak, jeotermal, hidrojen, biyogaz, deniz-dalga gibi enerji kaynakları bulunmaktadır. Enerji kaynaklarının çevreye zarar vermemeleri, sınırsız olmaları, kullanımları için düşük enerji tüketimine ihtiyaç duymaları, yüksek performans katsayıları, ucuz olmaları ve istenilen alanda kullanıma imkan vermeleri gibi özellikler bu kaynakların kullanımına istek duymada etkili olmuştur.

Elde edilen enerjinin önemli bir kısmının tüketimi konutların ve tesislerin ısıtılmasında harcanması nedeniyle en yakında, en ucuz şekilde ve en az enerji harcanarak kullanımı aşamasındaki en önemli problem enerjinin depolanmasıdır. Buradan yola çıkılarak ısı pompaları bu sorunu çözüm noktasında etkili bir yöntem olarak görülmektedir. Yapılmış olan çalışmalarda harcanan enerjinin ısı pompaları yardımıyla daha az tüketilebileceği tespit edilmiştir. Uygulama aşamasında ısı pompaları; konutların ve tesislerin çevresindeki toprak sıcaklığı, güneş enerjisi ve diğer enerji kaynaklarını kullanılabilmesi açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır. Özellikle yıl boyunca sıcaklığı çok değişiklik göstermeyen yer altı kaynakları doğal bir enerji deposudur ve düşük

sıcaklıktaki bu enerjinin en verimli ve en uygun bir biçimde ısıtmada kullanılması ise ısı pompaları ile mümkündür.

Diğer bir enerji kaynağı olarak da gübreden elde edilen biyogaz; gübrelerin çevreye verdiği rahatsızlığı en aza indirmesinin yanı sıra açıkta bırakılan gübrelerden çıkan metan gazının ozon tabakasına verdiği zararın azaltılmasında önemli bir kaynaktır. Üretilen metan gazının ısıtma ve elektrik enerjisi elde edilmesinde kullanımıyla beraber bitkiler için kısa sürede elde edilen ve daha verimli olan fermente olmuş gübre önemli bir enerji kaynağıdır. Özellikle kırsal kesimde yaşayan hayvan sahipleri için elde edilen gübre vazgeçilmez bir enerji maddesidir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılabilirliği için yapılmış olan çalışmalar seracılık alanında da gelişmelere yol açmıştır. Öncelikle ucuz ve kolay bulunabilir olmaları seracılık açısından oldukça önemlidir. Seracılıkta kullanılan sera ısıtması, ürün hâsılâtının yanı sıra ürün kalitesi ve yetiştirme zamanı üzerinde büyük etkiye sahiptir. Özellikle iklimin soğuk geçtiği bölgelerde ürün yetiştirmek için sınırlı süre olması sebebiyle seraları ısıtmak daha fazla önem arz etmektedir. Çiftçiler açısından ürün yetiştirmek için gerekli olan fidelerin erken zamanda tedarik edilmesi ürünlerin hâsılâtının erken yapılması anlamına gelmesi sebebiyle elde edilen maddi kazanç açısından da oldukça önemli bir avantajdır. Çünkü erken yapılabilen hâsılât yüksek maddi kazanç sağlamaktadır. Dolayısıyla ısıtmada kullanılabilen yenilenebilir enerji kaynakları artık seracılık açısından da önemli bir yer teşkil etmektedir.

Günhan (1998), seraların ısıtılmasıyla ilgili tekniklerin toplu olarak tanıtıldığı bir kaynak oluşturmaya çalışmış ve seraların düşük sıcaklıktaki akışkanlarla ısıtılma teknikleri konulu bir çalışma hazırlamıştır. Bu çalışmada, seraların ısı gereksinimlerinin belirlenmesi, sera klimasını etkileyen faktörler ve sera ısıtmasında kullanılan geleneksel ısıtma sistemleri hakkında bilgiler verdikten sonra düşük sıcaklıktaki akışkanlarla sera ısıtılması için geliştirilen ısıtma sistemlerini tanıtmıştır. Sistemlerin sağlamış oldukları yararları ve sakıncalı yönleri belirtmiştir.

Sera ısıtmasında kullanabildiğimiz güneş enerjisi direkt olarak kullanılabildiği gibi toprak ısı değiştirgeçlerinde de kullanılan ısı pompası aracılığı ile de kullanılabilmektedir. Birçok sahada kullanım imkânına sahip olan ısı pompalarının temel prensibi aslında bir soğutma çevrimidir ve bu prensip Nicolas Leonard Sadi Carnot tarafından 1824 yılında ortaya atılmıştır. 1850 yılında Lord Kelvin 'in soğutma cihazlarının, ısıtma maksadı ile kullanılabileceğini ileri sürmesiyle ısı pompası uygulamaya girmiştir. II. Dünya

Savaş'ndan önce ısı pompasının geliştirilmesi ve kullanılabilir hale getirilmesi için birçok mühendis ve bilim adamı bu alanda araştırmalar ve çalışmalar yapmıştır. Savaş yıllarında endüstri, imkânlarını daha acil problemlere yönelttiği için bu çalışmalara ara verilmiştir. Savaştan sonra çalışmalara tekrar başlanılmıştır (URL-8, 2010).

Avrupa'da bu konuda yapılmış araştırma projeleri, Sowa (1974), Rouvel (1975), Summer (1976), Morgensen (1979) tarafından gerçekleştirilmiştir. Toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri, 1970'li yıllardan itibaren kullanılmaya başlamıştır. A.B.D.'de ise toprak kaynaklı ısı pompasının etkili bir şekilde kullanımına 1977-1978 yıllarında başlanmıştır. Derinlik, boru aralığı ve yatay sistemlerde halka çeşitleri, ısı değiştiricilerin tipleri ve farklı fiziksel özellikleri gibi faktörler bu araştırmalarda incelenmiştir. Toprak kaynaklı ısı pompalarının geliştirilmesine katkıda bulunmuş en tanınmış araştırmacılar: Bose (1979, 1981, 1982), Parker ve Frierson (1981), Metz (1979, 1981) ve Andrews (1979)'dır. Ayrıca A.B.D'de Kavanaugh, düşey toprak ısı değiştiricilerinde ısı geçişini incelemiştir (Esen, 2001). Topraktan havaya ısı değiştiriciler üzerine Shukla vd (2006), Tiwari vd (2005), Ghosal ve Tiwari (2005) çalışmalarda bulunmuşlardır. Esen vd. (2003), yatay toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin deneysel uygulaması konulu yaptıkları çalışma sonucunda Elazığ'da Şubat ayında bir odanın ısıtılmasını başarı ile gerçekleştirmişlerdir.

Tokgöz (2006), alışılagelmiş ısıtma sistemleriyle sera ısıtması yapıldığında, ortaya çıkan yüksek işletme maliyetlerinden kaçınmak için bir ısı pompası sistemi tasarlanmıştır. Bu sistem enerji kaynağı olarak; toprak, güneş ve güneş enerjisinin uygun zamanlarda depolandığı ısı enerjisi deposundan faydalanmaktadır. Toplam ısı kaybı ile minimum kompresör işi arasındaki fark tasarlanan sistem tarafından karşılanmaya çalışılmıştır.

Sethi (2009), yaptığı çalışmada eni, boyu ve yüksekliği aynı olan çeşitli şekillerdeki ve değişik yönlerdeki seralarda değerler elde etmiştir. Doğu-batı yönünde kurulan eşit çatı eğimli seralarda, kışın yüksek güneş ışımasını sağlandığını belirlemiştir.

Dikici (2004)'de güneş, hava ve toprak enerjisi kaynaklı ısı pompasının Elazığ şartlarında konut ısıtması için kullanımının deneysel olarak araştırmasını yapmış ve toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin en karlı yatırım olduğunu belirlemiştir.

Benli (2006), ısı depolamalı cam seralarda sıcaklık değişimini incelemiştir. Havalı güneş kolektörleri ve toprak kaynaklı ısı pompası kullandığı bu çalışmada; ilk aşamada havalı güneş kolektörleri kullanılarak sera ısıtılması yapılmış, ikinci aşamada havalı güneş

kollektörleri ve faz değıştirici malzeme kullanılmış ve son aşamada ise toprak kaynaklı ısı pompası ve ısı depolama sistemi kullanılarak sera ısıtılması yapılmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında pasif ısıtma sistemlerinden de yararlanılmıştır. Bu amaçla Usmani ve arkadaşları. (1996), biyogaz sistemine entegre edilen bir seranın performans özelliklerini belirlemek için, gazometre kısmı siyah renge boyanan biyogaz reaktörünün üzerini sera ile kapatmışlardır. Bu sayede sera etkisi nedeniyle hem gece hem gündüz ısı kayıplarının azaldığını belirlemişlerdir.

Biyogaz teknolojisi özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde sürekli gündemde kalan ve önemini artıran alternatif bir enerji kaynağıdır. Özellikle biyogazın gaz motorlarında yakılabilmesi ve elektrik enerjisi üretilebilmesi bu teknolojinin kullanımını artırmıştır. Ülkemizde sınırlı miktarlarda uygulama imkanı bulan biyogazı, elde etme aşamasında araştırmalar ve çalışmalar her geçen gün hız kazanmaktadır. 1950’li yıllarda başlayan çalışmalar 1980-86 yılları arasında Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsünde yoğun bir biçimde yürütölmüş ve biyogaz üretimi ile ilgili temel bulgular elde edilmiştir. Bu bilgiler ışığında kamuoyunun ilgisi çekilmiş ve önemli düzeyde bilgi birikimi sağlanmışır (Bilgin, 2003).

Öztürk (2005), yapmış olduğı çalışmada biyogaz oluşumu, biyogaz oluşumunu etkileyen temel kriterler, biyogaz reaktör dizaynı, bio reaktör modelleri, biyogaz bileşimi ve yöntemi, biyogaz içindeki kirleticilerin arıtılması ve arıtma çamurunun kullanılışı konularında önemli bilgiler vermektedir.

Alçıçek ve Demiruluş (1994), yapmış oldukları çalışmada biyogazın ekonomik önemi ve çevreciliğe katkıları üzerine bilgilendirme noktasında katkıda bulunmuşlardır. Bu çalışmada; biyogaz ünitelerinde kullanılabilecek gübreler ve özellikleri, biyogaz ünitelerinin kurulabileceğı yerler, biyogazın elde edilmesi, biyogazın kullanım yerleri, biyogaz üretimin çevrecilik açısından önemi, biyogaz tesisinin ekonomik analizi gibi konularda bilgiler vermişlerdir.

Entürk ve arkadaşları (2006), Çorum İli’nde örnek bir pilot tesis olarak seçilen bir tavuk üretim çiftliğinde gübre atıklarının arıtılmasında küçük ölçekli bir biyogaz sisteminin uygunluğunu araştırmak için bir çalışma yapmışlardır. Bu sebeple gübre atıklarının bertarafı için sabit kubbeli Çin tipi biyogaz reaktörü uygun bir çürütme prosesi olarak önerilmiş ve tasarım kriterleri ve literatür verileri esas alınarak yapılan hesaplamalar bu çalışmada sunulmuştur.

Yılmaz (1996), yapmış olduğu bir prototip biyogaz üretecinde enerji tasarrufu ve teknolojik verimliliği düşünerek, üreteç sıcaklığının sabit tutulabileceği ve sabit sıcaklıkta üretecın kararlı ve dengede çalışarak biyogaz verimini arttırdığını belirtmiştir. Bu amaçla ısı borulu güneş kolektör sistemini kurarak deneylerini yapmış ve biyogaz üretiminde olumlu sonuçlar elde etmiştir.

Koçar ve arkadaşları (2007), biyogaz üretiminde reaktör sıcaklığına dikkat çekerek ısı kaynağı olarak güneş enerjisinin kullanımı üzerine çalışmalarını yapmışlardır. Çalışmalarında dünyadaki güneş enerjisi destekli biyogaz sistemleri ile ilgili uygulamaları irdeleyerek yürüttükleri çalışmalarda elde ettikleri sonuçları da dikkate alarak ülkemizde uygulanabilirliğini tartışmışlardır.

Türker (2008), anaerobik biyoteknoloji ve biyogaz üretimi dünya’da ve Türkiye’de eğilimler üzerine yapmış olduğu çalışmada dünyada ve Türkiye’deki biyogaz tesisleri ve kapasiteleri ile ilgili bilgiler vererek karşılaştırmalarda bulunmuştur. Ülkemizde başta gıda endüstrisi olmak üzere, endüstriyel atıkların anaerobik arıtımına ilginin mevcut olduğunu belirtmiştir. Fakat hayvan gübreleri ve diğer evsel ve tarımsal atıkların biyogaza dönüştürülmesi noktasında fazla uygulama alanı bulamadığı ve Türkiye’nin biyogaz ve biyoenerji üretiminde büyük bir potansiyele sahip olduğunu ifade etmiştir. Özellikle ülkemizdeki gıda endüstrisinin büyüklüğü ve önümüzdeki yıllarda daha da büyüme potansiyeline sahip olduğu düşünüldüğünde anaerobik biyoteknolojinin atıklardan enerji geri kazanımı konusundaki katkısının daha iyi anlaşılabilceği ve desteklenmesinin zorunlu olduğu üzerinde durmuştur.

Şerit ve arkadaşları (2009), iki fazlı biyogaz üretim tesislerinde gaz üretime etki eden parametreler üzerine Kocaeli Üniversitesi ile birlikte Kocaeli Büyükşehir belediyesine bağlı İzaydaş’ta kurulan 5 m³ kapasiteli Ar-Ge amaçlı biyogaz üretim tesisinde çalışmalar yapmışlardır. Aynı zamanda Yiğit ve arkadaşları (2009), bu tesiste elektrik üretimi konusunda çalışmalarda bulunmuşlardır.

Gül (2006), tavuk gübresinden biyogaz üretim potansiyelinin araştırılması üzerine laboratuvar ölçekli olarak çalışmış ve farklı katı madde oranlarının biyogaz üretime etkisi üzerinde durmuştur. Katı madde oranının artışıyla birlikte biyogaz üretim miktarının artmakta, ancak birim katı madde başına düşen üretimin azaldığını belirlemiştir.

Ardıç ve Taner (2004), tavuk gübresindeki katı maddenin sudaki çözünürlüğüne asidik önışlemlerin etkilerini incelemişler ve olumlu sonuç elde etmişlerdir. Eklenen asit miktarı arttıkça sudaki çözünürlüğün arttığını tespit etmişlerdir. Ancak asit miktarının

artırılmasının anaerobik ortamda sülfür iyonu derişimini arttıracğından, asidik önişlemlerdeki asit miktarının katı maddeye göre % 20 oranında kullanılmasının daha uygun olacağı sonucuna varmışlardır.

Afacan (2008), kurduğu 30 m³ hacmindeki tesiste biyogaz tankını, biyogazdan ve gerektiğinde de güneş enerjisinden faydalanılarak ısıtılan su ile ısıtmış ve günde yaklaşık 15 m³ biyogaz elde etmiştir. Türkiye’de ilk uygulanan Alman tipine göre 6 mm’lik çelik sac malzemeden yatay silindir şeklinde yapmış, ısıtma, karıştırma ve depolama sistemini otomatik olarak çalıştırarak çalışmalarını gerçekleştirmiştir. Elde ettikleri gübrenin seralarda ve açık alanlarda kullanımını sağlamışlardır.

Buğutekin (2007), atıklardan biyogaz üretiminin incelenmesi konusunda atık karıştırmanın biyogaz üretimine etkisi incelemiştir. Deneyler sonucunda karıştırma ve attığın içindeki sıcaklık dağılımının homojen olduğu, Rushton karıştırıcılı fermantör, karıştırmasız fermantörden % 30, çift kanatlı karıştırıcıdan % 15.4 daha verimli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca çift kanatlı fermantör, karıştırmasız fermantörden % 16.6 daha verimli olduğu belirlenmiştir.

Akbulut ve arkadaşları (2005), 280 m³ hacme sahip olan biyogaz reaktörünü toprak kaynaklı ısı pompası kullanarak reaktörü ısıtma üzerine yaptıkları çalışmada, yenilenebilir bir enerji kaynağı ile diğer bir enerji kaynağını ısıtmada kullanmışlardır. Çalışma başarılı bir şekilde sonuçlanmıştır.

Öztürk ve Okumuş (2008), biyogaz üretimi ve yakıt kalitesinin yükseltilmesi konusunda hayvan gübresi kullanılan 3.6 m³ hacme sahip üreteç içerisine peynir altı suyu ve hayvan kanı kullanarak biyogaz üretimini incelemiştir. Ölçümler sonucunda biyogaz üretimi esnasında izlenen parametrelerin konsantrasyonları çok fazla düşmediğini belirlemişlerdir.

Biyogaz, güneş ve toprak enerjisi kaynaklı sera ısıtma sistemlerini yöre insanlarımız tarafından sınırlı düzeyde ve çok az kişi tarafından bilinmektedir. Ayrıca yatırım maliyetinin yüksek olması, biyogaz üretiminin bilinmemesi, güneş enerjisinin zaman ve yüke bağlı olarak değişkenliği, toprak özelliklerinin tam olarak belirlenememesi ve topraktan tam olarak faydalanılamaması gibi dezavantajları yaygınlaşmasına engel olan unsurlar olarak görülmüştür. Mevcut olan bu dezavantajları ortadan kaldırmak ve ülkemizde de mevcut olan bilgi ve ilgi eksikliğini ortadan kaldırmak için yapılacak çalışmalarla insanlar aydınlatılmaya çalışılacak ve yol gösterici olunmak hedeflenmektedir. Yaptığımız literatür araştırmasında, biyogaz, güneş ve toprak enerjisi kaynaklı sera ısıtması

üzerine çok fazla bir çalışmaya rastlanılmamış ve ülkemizde spiral (slinky) konfigürasyonlu toprak ısı değiştiricisi hakkında daha önceden yapılmış deneysel bir çalışmaya ulaşılammamıştır. Yapılacak deneysel çalışma ile sistemin kullanım amacına uygunluğu araştırılacaktır. Yurt içi ve dışı literatürlerden elde ettiğimiz bilgiler ışığında yukarıda belirtilen eksikliklerin bu projede inşaa edilecek serada kurulacak sistemlerle test edilecek ve bu bilgiler ışığında azaltılacağı tasarlanmıştır.

Bu çalışmada; biyogaz, güneş ve toprak enerjisi kaynaklı sera ısıtmasının Elazığ şartlarında kullanımının araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, biyogaz destekli, ısı depolamalı güneş enerjili ve yatay helezon toprak ısı değiştiricili bir ısı pompası sistemi tasarlanmış deney düzeneği tesis edilerek, buna göre kurulan bir seranın bu alternatif enerji kaynaklı ısıtma sistemiyle ısıtılabilirliğinin Elazığ şartlarında araştırılması planlanmıştır. Yapılmış olan bu çalışmada ısı pompası sisteminde kullanılan elemanların tasarım ve imalatları yapılmıştır. Ayrıca biyogaz tesisi tasarlanıp kurulmuştur. Söz konusu alternatif enerji kaynaklarıyla ısıtılan bir sera kurulumuyla, ısı kayıp ve kazançları belirlenmiştir. Deneysel olarak ısı pompasının ısı kaynakları arasındaki kullanımı araştırılarak, performansı belirlenmiştir. Deneysel çalışmamız yapılmış benzer çalışmalardaki neticelerle karşılaştırmaları yapılmış ve yorumlanmıştır. Belirlenen amaçlarla ulaşmak için öncelikle biyogaz, ısı pompası, güneş ve toprak enerjisi kaynakları hakkında bilgiler verilmiştir.

1.1. Biyogaz

Halk arasında ve enerji çevrelerinde oldukça sık bir şekilde dile getirilen, ancak aynı ölçüde enerji üretiminde yerini alamayan yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyogaz, yapılan ve yapılacak çalışmalarla etkin bir şekilde özellikle hayvancılıkla uğraşan gelir düzeyi çok iyi olmayan ailelerin vazgeçmeyeceği bir kaynaktır.

Biyogaz teknolojisi ülkemizde sadece araştırma düzeyinde, sınırlı bilgi ve teknolojiyle uygulanmaya çalışılmıştır. 1950’li yıllarda bu konudaki ilk çalışmalar yapılmıştır. Biyogaz üretimi konusunda 1980-86 yılları arasındaki dönemde; Topraksu Genel Müdürlüğü tarafından her il merkezinde 3 adet, bölge merkezlerinde ise 5 adet biyogaz tesisinin yapılması planlanmış ve bu tesislerin çoğu işletmeye açılmıştır. Diğer taraftan, kendi olanakları ile biyogaz tesisi kurmak isteyen kişi ve kuruluşlara kredi ve teknik yardım olanağı sağlanmıştır. Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü tarafından

1987 yılında yapılan bir anket sonucunda yapımı gerçekleştirilen biyogaz tesislerinin birçoğunun aşağıda özetlenen nedenlerden dolayı işletilemediği tespit edilmiştir (Bilgin, 2003).

- Tesis inşaatı konusunda yeterli eğitim sağlanamaması nedeniyle inşaat hataları yapılmıştır.
- Tesis sahipleri teknik bilgi yetersizliği nedeniyle tesisleri işletememişlerdir.
- Tesis işletmecileri danışman bir kuruluş bulamamışlardır.

Ülkemizde kişilerin bilgi eksikliği ve yetersizliği, uygulamaya yönelik pratik tesislerin mevcut olmayışı, organik atıkların işlenmesi için gerekli yasal düzenlemelerin hayata geçirilememesi, biyogaza olan ilgisizliği artırmıştır. Ülkemiz şartlarına uygun bir model geliştirilip halkımıza yeterince tanıtılıp faydaları izah edilebilirse biyogaz gereken önemi kazanacak ve ülkemiz bu alternatif enerji kaynağının faydalarından geri kalmayacaktır.

Dünyada biyogaz üzerine birçok araştırmalar yapılmıştır Bu araştırmaların birçoğunda da oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Biyogazın günlük hayatımıza daha çok girmesi için dünya genelinde çalışmalar devam etmektedir.

Dünya’da kurulu hayvan gübresinden biyogaz tesislerinin %80’i Çin’de, %10’u Hindistan, Nepal ve Tayvan’da ve geri kalanı diğer ülkelerde kuruludur. Gelişmekte olan ülkelerde biyogaz tesisi sayısı aşağıdaki tablo 1.1’de verilmiştir.

Tablo 1.1. Gelişmekte olan ülkelerde biyogaz tesisi sayısı (Öztürk, 2005)

Ülkeler	Tesis Sayısı
Çin	7.000.000
Hindistan	2.900.000
Kore	29.000
Brezilya	2.300
Bangladeş	566 (yarısı çalışmıyor)
Nepal	49.500

Bangladeş’te kurulu çoğu tesislerin çalışmamasının sebebi, dizayn, inşaat ve bakım problemidir. Bangladeş’teki farklı uygulama otoritelerinin olması bu durumu daha da olumsuz etkilemektedir. Mevcut halde idari ve teknik içyapı bu sistemin gelişmesini engellemektedir (Öztürk, 2005).

Tablo 1.2. Avrupa topluluğu ülkelerinde biyogaz tesisi

Ülkeler	Biyogaz Tesisi Sayısı
Avusturya	>90
Danimarka	39
Almanya	2200
Yunanistan	2
Hollanda	3
İtalya	70
Norveç	4
Portekiz	16
İspanya	6
İsveç	12
İsviçre	59
İngiltere	31
Amerika	140 (çiftliklerde kurulu tesis)
Avustralya	46

Tablo 1’deki gelişmekte olan ülkelerdeki tesis sayısı ile Öztürk’ün (2005) tablo 1.2’de belirttiği Avrupa topluluğu ülkelerindeki hayvan gübresi kullanılarak inşa edilen biyogaz tesisi sayısı arasındaki farkın dikkat çekici düzeyde olduğu görülmektedir. Ülkemizdeki durum da buradaki sayılardan farklı değildir. Dolayısıyla ucuz, temiz ve çevreci olan bu yenilenebilir enerji kaynağı üzerine çalışmalar daha da arttırılmalıdır.

Türkiye’deki biyogaz üretimi oldukça sınırlıdır ve Avrupa ülkeleri ile kıyaslanamayacak kadar azdır. Avrupa’daki 2005 yılı verilerine göre toplam yaklaşık 2500 adet olan biyogaz tesisi sayısı 2006 yılı itibariyle sadece Almanya’da 3500 adet artmıştır. Bu büyümenin en önemli nedeni alternatif enerji kaynaklarına verilen teşvik ve alım garantisidir (Çağlayan vd, 2009).

Buğday, arpa, tütün, pamuk, çeltik vb ürünler Türkiye’de tarım sektörünün temelini oluşturmaktadır. Yıllık olarak 65 Mton tarımsal atık ve hayvancılık kaynaklı 160 Mton yaş gübre olmuştur (Tübitak MAM, 2007). Yaklaşık olarak bu miktardaki tarımsal ve hayvansal kullanılmayan atıklar ya yakılmakta ya da çürümeye terk edilmektedir. Aynı zamanda hayvanlardan elde edilen gübrede açık havada uzun bir süre ile gübre olarak

kullanmak için yanmaya bırakılmakta veya yakacak olarak kullanmak için biriktirilmektedir. Bu durum, atıklardan çıkan gazların sera etkisi yapması sebebi ile çevresel problemler ve yine atıkların neden olduğu kötü koku ve hastalık etkisi sebepleri ile sağlık problemlerini ortaya çıkmaktadır. Bu problemleri ortadan kaldırmak için biyogaza dönüşüm tesisleri sayesinde, atıklar içerisinde metan gazı alınma yöntemi ile hem enerji dönüşümü yapılarak hem de bu sayede çevreye verilen zarar en aza indirilerek, hatta elde edilen gübrenin daha yararlı hale dönüştürülmüş olması yerinde bir çalışma olarak görülmektedir.

Ülkemiz her çeşit enerji kaynağına sahip olmakla birlikte, rezervler kısıtlı olup enerjide dışa bağımlıdır ve tüketiminin %60'ı ithalatla karşılanmaktadır (Tübitak MAM, 2007). Günümüzde bu değer daha da yükselmiştir. Ülkemizin petrol tüketiminin sadece %8.6'sı yerli üretim ham petrol ile karşılanabilmektedir. İthalat ile karşılanan %91.4' lük kısım için 5.9 milyar ABD doları ödenmektedir (Pehlivan, 2009). Ülke ekonomisine oldukça fazla yük getiren dışa bağımlılık yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artmasıyla azaltılabilir. Güneş, rüzgâr, hidrolik, biokütle, jeotermal vb. yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip olan ülkemizde bol miktarda bulunan bu kaynakların kullanım oranları çok sınırlı miktardadır. Bol miktarda olan bu kaynakların kullanım oranlarının yükseltilmesi gerekmektedir.

Diğer bir taraftan OECD ve Avrupa Birliği ülkeleriyle Türkiye'deki kurulu güç ve kişi başına düşen enerji miktarı tablo 3'de gösterildiği gibi kıyaslandığında ülkemizin durumu daha iyi anlaşılabacaktır. Türkiye, tablo 3'de de görüldüğü gibi kişi başına düşen enerji tüketiminin en az olduğu ülkedir. Türkiye'nin hidrolik ve termik santraller gibi sadece iki enerji üretim kaynağı söz konusudur (Öztürk, 2005). Alternatif ve yenilenebilir enerji kaynakları çok düşük seviyelerdedir. Çin'de konut tipi bio reaktörlerde yılda 2 milyar m³ biyogaz üretilmektedir. Yani bir aile yılda 200-300 m³ biyogaz üretmektedir. Yine Çin'de 25 milyon insan biyogaz tesislerinden elde edilen gazları 8-10 ay yemek pişirme amacı ile kullanmaktadırlar. 800 biyogaz tesisinde 7800 kWh kapasiteli elektrik enerjisi üretim tesisi bulunmaktadır. Bu enerji 17000 aile tarafından kullanılmaktadır.

Almanya'da 1992'de 139 olan biyogaz tesisi sayısı 10 yılda 2200'lere ulaşmıştır (Öztürk, 2005). Bu sayılar ışığında ülkemizde fazlasıyla var olan alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına daha fazla önem verilmelidir. Biyogaz gibi alternatif bir enerji kaynağı yeterli düzeyde yaygınlaştırılmalı ve kullanılmalıdır. Enerji kullanımı ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin bir göstergesi olarak belirtilmektedir. Tablo 1.3'de görülen kişi başı düşük

olan enerji miktarının yükselmesinde ülkemizin gelişmiş ülkeler arasında hak ettiği seviyeye yükselmesinde gereken emek sarf edilmelidir.

Tablo 1.3. OECD ve Avrupa Birliği ülkelerinde kurulu enerji gücü ve kişi başına düşen enerji miktarı (Öztürk, 2005)

Ülkeler	Kurulu Güç (GW)	Kişi Başına(kWh/kişi)
A.B.D	784.78	14.405
Almanya	113.63	6382
Avusturya	17.45	7231
Belçika	15.40	8397
Danimarka	12.54	6842
Fransa	112.59	7779
Hollanda	20.21	6677
İngiltere	72.65	5517
İspanya	50.02	5434
İsveç	33.03	15964
İtalya	72.51	5398
Japonya	222.39	8373
Kanada	109.95	17900
Portekiz	9.78	4240
Türkiye	23.35	1811
Yunanistan	10.02	4682
Avrupa Birliği	561.64	-

Biyogaz; hayvan gübreleri, bitki artıkları ve her türlü organik materyalin havasız (anaerobik) ortamlarda fermentasyonu sonucu elde edilen, bileşiminde metan ve karbondioksit gazı bulunan bir gaz karışımıdır. Biyogazı sadece bir enerji kaynağı olarak değerlendirmemek gerekir. Çünkü fermentasyon sonucu açığa çıkan gaz alındığında, geriye fermante olmuş değerli bir organik gübre kalmaktadır. Bu uygulama sonucunda ise temiz bir enerji ve temiz bir çevreye sahip olunarak gübrelerle yayılan hastalıklar da asgari düzeye düşürülerek çevre sağlığına da katkıda bulunulmuş olunmaktadır. Bu haliyle tükenmeyecek temiz bir enerji kaynağı olarak biyogaz önem arz etmektedir.

1.1.1. Biyogazın Önemi ve Kaynakları

Biyogaz, pek çok bakımdan öneme sahiptir. Her şeyden önce biyogaz sistemlerini kullananlar bu sistemleri organik gübre ve enerji üretiminin doğal bir kaynağı olarak görmelidirler. Biyogaz sistemleri, enerji üreten sistemlerdir. Fakat bir biyogaz sisteminden elde edilen en önemli ürün enerji değil, verimi daha yüksek olan organik gübredir. Bunların yanı sıra biyogaz kaynaklarının çevreye atılarak kötü görüntü ve kötü koku kaynağı olmasına engel olunmaktadır. Bu sayede etrafa verilen rahatsızlık ve hastalık kaynağı olmasının önüne geçilmiş olunarak temiz ve güzel bir çevreye sahip olma yolunda yapılan çevreci bir çalışmadır.

Kendi toplumumuzda ve diğer toplumlarda hem geçmişte hem de günümüzde hayvan gübresinden tezek yaparak yakıt olarak kullanma süregelen bir gelenek halini almıştır. Özellikle köylerimizde bu alışkanlık; ocaklarda yemek pişirme, ısıtma ve kışın da ısınma aracı olarak kullanmaya devam etmek halen sürdürülmektedir. Bu kullanım şekli ile ısı değerinin ve veriminin düşük olduğu bu kaynağın biyogaza dönüştürerek kullanılması yapılmış olan çalışmalarla ve araştırmalarla tespit edilmiştir ki daha etkili verimli olmaktadır.

Biyogazın önemini kısaca şu başlıklarda toplayabiliriz:

- Biyogaz temiz ve ısı değeri yüksek bir enerji kaynağıdır.
- Biyogaz üretiminden sonra atıklar yok olmamakta üstelik çok daha değerli bir gübre haline dönüşmektedir.
- Biyogaz üretimi sonucu hayvan gübresinde bulunabilecek yabancı ot tohumları çimlenme özelliğini kaybetmektedir.
- Biyogaz özellikle kırsal kesimde çevre sağlığını olumlu etkilemektedir. Biyogaz üretimi sonucunda hayvan gübresinin kokusu hissedilmeyecek ölçüde yok olmaktadır.
- Gübrelerden kaynaklanan insan sağlığını tehdit eden hastalık etmenleri büyük oranda etkinliğini kaybetmektedir.

Ayrıca Tolay vd. (2008), hayvansal atıklardan anaerobik (havasız) arıtımla biyogaz üretiminin avantajlarını şu şekilde sıralamışlardır:

- Biyogaz ile elektrik ve ısı üretiminde ekonomik kazanç elde edilmesini sağlar.
- Arıtmadan çıkan atık gübre olarak kullanılabilir. Biyogaz üretiminden sonra elde edilen gübre daha kolay kullanılabilir gübredir.

- Küresel ısınmanın en önemli etkeni olan sera gazları azaltılır. Metan en kötü sera gazlarından biridir. Açığa atılan hayvansal atıklardan yayılan metan gazı aynı hacimdeki CO₂'den yirmi katı daha fazla sera gazı etkisi yapar. Oysa biyogaz tesislerinde elde edilen metan yakılarak CO₂'e dönüştürülür.
- Çok ucuz ve çevreci atık çevrimi sağlar. Evlerde çıkan diğer katı evsel atıklar ve tarımsal atıklar da hayvansal atıklarla birlikte biyogaz üretiminde kullanılabilir.
- Daha sağlıklı, hijyenik yaşam alanlarının yaratılmasını sağlar.
- Özellikle ülkemizde hayvancılığın gelişmesine teşvik edici unsur olacaktır. Dolayısıyla suni gübreye bağımlılığı azaltarak sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunur. Ayrıca ülkemizin dışarıya olan enerji bağımlılığını azaltır.

Biyogazın oluşumunda kullanılan temel kaynakları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Büyük ve küçükbaş hayvan gübreleri,
- Mezbaha artıkları,
- Hayvansal ürünlerin işlenmesiyle çıkan artıklar,
- İnsan dışkısı,
- Yeşil gübre olarak ifade edilen bazı bitkiler (parçalanmış halde),
- Tarla ürün artıkları,
- Ot ve saman artıkları,
- Bitkisel ürünlerin işlenmesiyle çıkan artıklar,
- Yosunlar,
- Çöp birikintileri gibi organik kökenli artık ve atıklar.

Belirli miktardaki bu organik atıklar belirli miktarda su ile hava almayacak şekilde inşa edilmiş havasız bir depoya doldurularak depolanırsa, kimyasal tepkimeler sonucunda yanıcı gaz karışımının açığa çıkması mümkün olmaktadır. Tablo 1.4'te çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve biyogazdaki metan miktarları verilmiştir.

Tüm bunların yanı sıra biyogazın ve tesislerinin bazı sakıncalar da vardır. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz:

- Biyogazın zehirleme etkisi,
- Biyogazın patlama riski,
- Biyogazın yangın riski,

- Tesisin ilk yatırım maliyetinin yüksek olması (büyük tesisler için),
- Tesiste elektrik üretiminde kullanılan jeneratörün ve pompaların seslerinden dolayı gürültü kirliliği

gibi sakıncaları sayabiliriz. Bu sakıncalar alınacak basit önlemlerle giderilebilir. Dolayısıyla biyogaz; dezavantajları avantajlarına veya zararları faydalarına oranla yok denebilecek oranda yenilenebilir bir enerji ve verimli bir gübre kaynağıdır.

Tablo 1.4. Çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve biyogazdaki metan miktarları
(www.eie.gov.tr)

KAYNAK	BİYOGAZ VERİMİ (litre/kg)	METAN ORANI (Hacim %'si)
Sığır Gübresi	90-310	65
Kanatlı Gübresi	310-620	60
Domuz Gübresi	340-550	65-70
Buğday Samanı	200-300	50-60
Çavdar Samanı	200-300	59
Arpa Samanı	290-310	59
Mısır sapları ve artıkları	380-460	59
Keten & Kenevir	360	59
Çimen	280-550	70
Sebze artıkları	330-360	Değişken
Ziraat atıkları	310-430	60-70
Yerfıstığı kabuğu	365	---
Dökülmüş ağaç yaprakları	210-290	58
Algler	420-500	63
Atık su çamuru	310-800	65-80

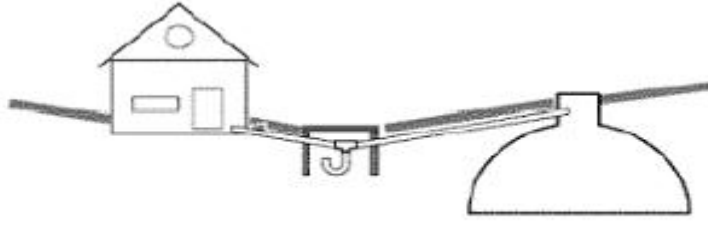
1.1.2. Biyogazın Tanımı ve Özellikleri

Bakterilerin bir kısmı bozunma olayını havalı (oksijenli) ortamda gerçekleştirirler. Bu tür bakterilere aerobik bakteri adı verilir. Diğer bazı bakteriler ise bu bozunma işlemini havasız (oksijensiz) ortamda gerçekleştirirler ki bunlara da anaerobik bakteri adı verilir. Dolayısıyla gerçekleşen olaya da anaerobik ayrışma denmektedir. Bataklıklarda, dipteki ölü bitkisel ve hayvansal maddeler anaerobik bir ayrışmaya uğrarlar ve sonunda yüzeye gaz kabarcıkları çıkmaya başlar. Metan (CH_4)'da bu gazlardan biridir. Metan gazına, bataklık gazı denmesinin sebebi de budur. Biyogazın oluşumu da aynı şekilde gerçekleşir.

Biyogaz; başta hayvan gübreleri ve bitki artıkları olmak üzere, her türlü organik materyalin oksijensiz ortamlarda fermentasyonu (mayalanma) sonucu elde edilen bir gaz karışımıdır. Isıl değeri yüksek bir enerji kaynağıdır. Biyogaza yanıcılık özelliğini kazandıran içerisindeki metan gazı (CH_4)'dır.

Biyogazın bileşiminde % 60-70 metan (CH_4), % 30-40 karbondioksit (CO_2), % 0-2 hidrojen sülfür (H_2S) ile çok az miktarda azot (N_2) ve hidrojen (H_2) bulunmaktadır (Bilgin, 2003). Ayrıca çok az miktarda da amonyak (NH_3) ihtiva etmektedir. Bu yapıya sahip olan biyogazın özelliklerini ise şu şekilde sıralayabiliriz.

- Biyogaz yanarken temiz ve mavi bir alevle yanar.
- Biyogaz, kullanılmadığı zaman çürük yumurta kokusundadır. Yanma esnasında bu koku kaybolur. Bu özelliğinden dolayı biyogazın nakli sırasında borularda kaçak olup olmadığını anlamak kolaylaşır.
- Biyogaz çok düşük sıcaklıklarda ($-164\text{ }^\circ\text{C}$) sıvılaştırılabilmektedir. Bu işlem çok pahalıdır, bu nedenle gaz tüplerinde depolanması ekonomik değildir. Genellikle gaz halinde kullanılmaktadır. (Bilgin, 2003)
- Biyogaz hidrojen dışında diğer gaz formunda bulunan enerji kaynaklarına göre daha düşük enerji içeriğine sahiptir. Ancak hidrojene göre ısıl değeri daha yüksektir.
- Biyogaz, oluşumu sonucunda içerisinde nem (su buharı) bulunmaktadır. Dolayısıyla bu nem yâda tesisatta biriken su zamanla sistemden alınmalıdır. Aksi halde ekipmanlara zarar verebilir. %1'den az olmayan eğimli biyogaz boru hattı üzerinde nem tuzakları oluşturularak şekil 1.1'deki gibi küçük ölçekli olan tesislerde nem sistemden alınabilir. Bu sistemin yeterli olmadığı durumlarda elle veya otomatik metotlarla su yoğunlaştırılarak sistemden alınır.



Şekil 1.1. Küçük kapasiteli tesislerde basit nem yoğunlaştırma tekniği (Öztürk, 2005).

- Havadan daha hafiftir. Hava içerisinde bulunduğu durumda tabana çökelmez. Bu nedenle havayla daha hızlı karışır ve havadaki oranı düşer. Bu özelliği, ani patlama ve yanma tehlikesini azaltmaktadır.
- Tutuşma sıcaklığının yüksek olması bu açıdan önemli bir avantaj olarak değerlendirilmelidir. Hava içerisinde yanma hızı (0.25 m/s) düşüktür. Bunun nedeni CO_2 içermesidir. Yanması için hava içerisinde en az % 5 oranında bulunmalıdır. Yanması için 1 m^3 biyogaza yaklaşık 5.7 m^3 hava gereklidir. Ancak bu oran ideal bir yanmanın sağlanması için % 20–30 olarak seçilmektedir (Buğutekin, 2007).
- Biyogazın yanması için, gerekli miktarda hava ile karışması ve tutuşma sıcaklığına ulaşması gerekmektedir. Bu nedenle yanma ortamından geriye doğru alevin ilerleme tehlikesinin çok azdır. Biyogazın yanması sonucu su buharı, karbondioksit, sülfütdioksit, azot oksitler, karbonmonoksit ve is oluşmaktadır. SO_2 'nin nedeni gazda bulunan H_2S 'dir. Biyogazın temizlenmesi durumunda kükürt dioksitin oranı azalır. Gazın içerdiği H_2S tamamen temizlenmediği için yanma sonucu oluşan emisyon değerlerinin azaltılması zordur (Arıkan, 2008).

Metan gazı (CH_4), karbon dioksitten (CO_2) 21 kat daha fazla global ısınma potansiyeline sahiptir. Metan gazının yeryüzündeki sera etkisi %15'dir (Öztürk, 2005). Tablo 1.5'te karşılaştırmaları yapılan doğal gaz ile biyogazın bileşimlerinde bulunan ve havadan hafif olan metan gazının yanması sonucunda karbondioksit (CO_2) ile su (H_2O) oluşur. Dolayısıyla metan gazının yakılması çevre açısından oldukça faydalıdır.

Tablo 1.5. Doğalgaz ve biyogazın karşılaştırması (Öztürk, 2005)

Parametreler	Birimleri	Doğal gaz	Biyogaz
Metan	% Hacimce	92.0	55-70
Etan	“	5.1	0
Propan	“	1.8	0
Bütan	“	0.9	0
Pentan	“	0.3	0
CO ₂	“	0.61	35-45
Azot gazı	“	0.32	0-2
H ₂ S	mg/m ³	1	0-15.000
Amonyak (NH ₃)	mg/m ³	0	0-450
Su çığ noktası	°C	-5 de çığ noktası	Doygun
Net Kalorifik değer	MJ/Nm ³	39.2	23.3
	kWh/Nm ³	10.89	6.5
	(MJ/kg)	48.4	20.2
Yoğunluk	Kg/NM ³	0.809	1.16
Nisbi Yoğunluk	(-)	0.625	0.863
Wobbe İndex (W)	mJ/nm ³	54.8	27.3

Biyogazın ısı değeri yaklaşık olarak 6 kWh/m³ veya 4800-6900 kcal/m³'dür. Bu değer motorin ve benzinin kalorifik değerinin yarısıdır. 1m³ biyogaz yaklaşık olarak 0.7 litre kerosen'e ve 4 kg oduna eşdeğerdir. Altı kişilik bir aile yemek pişirme ve aydınlatma amacı ile günde yaklaşık olarak 2.9 m³ biyogaz tüketmektedir. Buradan yola çıkarak çeşitli kaynaklardan elde edilen bilgiler ışığında, tablo 1.6.'da biyogazın diğer yakıtlarla karşılaştırılması ve 1m³ biyogazla neler yapılabileceği basit bir şekilde aşağıda ifade edilmiştir.

Yemek pişirmek için yaklaşık olarak 0.1 – 0.3 m³/kişi, bir lamba için 0.1-0.15 m³/h, motorlar için 0.6 m³/ kWh'lik biyogaz enerjisi yeterli olmaktadır.

Öztürk'ün (2005) ifadesine göre 1 m³ biyogazla;

- 6 saat 60-100 watt'lık lambayı çalışır halde tutmak,
- 5-6 kişilik bir aile için 3 öğün yemek pişirmek,
- 0.7 kg benzine eşdeğer kalori elde etmek,
- Bir beygir gücündeki motoru 2 saat çalıştırmak,
- 1.25 kWh elektrik enerjisi elde etmek

mümkündür.

Tablo 1.6. Biyogazın diğer yakıtlarla karşılaştırılması (biyogaz metan miktarı:%60) (Karaosmanoğlu, 2004).

YAKIT CİNSİ	ISIL DEĞER, kcal/kg	BİYOĞAZ MİKTARI KARŞILIKLARI
1 kg No:6 Fuel- Oil	9200	0.56 kg
1 kg Karışık Dökme Gaz	11000	0.46 kg
1 kg Propan Dökme Gaz	11000	0.46 kg
Sıvılaştırılmış Petrol Gazı-45 kg tüp	11000	0.46 kg
1 kg Motorin	10200	0.50 kg
1 m ³ Doğalgaz	8250	0.62 m ³
1 kg Soma Kömürü	4700	1.09 kg
1 kg İthal Linyit Kömürü	6500	0.79 kg

1.2. Biyogazın ve Elde Edilen Gübrenin Kullanımı

Biyogaz; ısınma ve ısıtma amaçlı, aydınlatma amaçlı, pişirme amaçlı ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılmak amaçlı cihazlarda özel bir malzemeye ihtiyaç duyulmadan üzerlerinde yapılacak olan küçük değişikliklerle kullanılabilir. Aynı zamanda taşıt motorlarında da yapılacak düzenlemelerle de biyogaz motor yakıtı olarak kullanılabilir.

1.2.1. Isıtmada Kullanım

Biyogaz, hava ile yaklaşık 1/7 oranında karıştığı zaman tam yanma gerçekleşmektedir (Bilgin, 2003). Fırın ve ocaklardan ısıtma amacıyla yararlanılabileceği gibi termosifon ve şofbenlerde de biyogazla çalıştırılarak kullanılabilir. Sıvılaştırılmış petrol gazı ile çalışan sobaların meme çaplarındaki değişikliklerle yapılacak basınç ayarlaması sayesinde bu sobalarda da kullanımı mümkün olmaktadır. Biyogazla ısıtılan bir

sera şekil 1.2’de görülmektedir. Biyogazı sobalarda kullanırken dikkat etmemiz gereken bir nokta da bünyesinde bulunan hidrojen sülfür (H_2S) gazının yanmadan ortama yayılmasını önlemek üzere bir baca sisteminin kurulmasının gerekliliğidir. Biyogaz, ocaklarda ve diğer cihazlarda yandığı zaman şekil 1.3’de görüldüğü gibi parlak ve mavi bir alevle yanmaktadır. Aynı zamanda şekil 1.4’de yemek pişirmede kullanılan biyogaz ocağı ile ilgili detay verilmiştir.

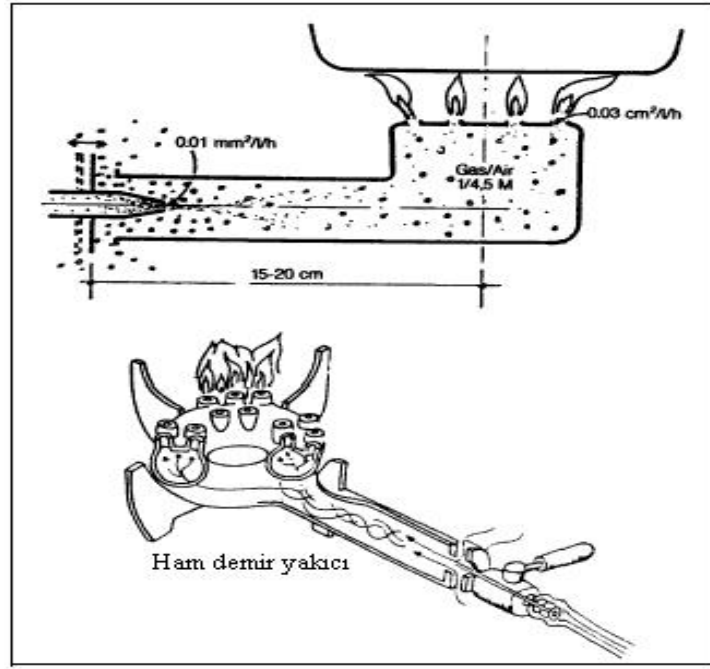
Biyogazın LPG’li ocakta ve şofbenlerde yanması için meme çapının yaklaşık 2.5-3 kat arttırılması gerekmektedir (Afacan, 2008).



Şekil 1.2. Biyogazın sera ısıtılmada kullanımı



Şekil 1.3. Biyogaz alevi



Şekil 1.4. Yemek pişirmede kullanılan biyogaz ocakları (Öztürk, 2005).

Alçıçek ve Demiruluş'a (1994) göre pişirme amacı ile ihtiyaç duyulan biyogaz miktarı kişi başına günde 0.3 m^3 'tür.

1 m^3 biyogazın sağladığı ısı miktarı=0.62 litre gazyağına,

1.46 kg odun kömürüne,

3.48 kg oduna,

0.43 kg bütan gazına,

12.4 kg tezeğe,

1.18 m^3 havagazına,

1 litre alkole,

0.8 litre benzine,

ve URL-1, www.eie.gov.tr'e göre 4.7 kWh elektrik enerjisi eşdeğerindedir.

1.2.2. Aydınlatmada Kullanım

Biyogaz, hem doğrudan yanma ile hem de şekil 1.5'te gösterildiği gibi jeneratörlerde yakıt olarak kullanılması sonucunda elektrik enerjisine çevrilerek aydınlatmada kullanılabilir. Biyogazın doğrudan aydınlatmada kullanımında sıvılaştırılmış petrol

gazları ile çalışan lambalardan yararlanılmaktadır. Şekil 1.6'da biyogaz ile yanan lamba örneği görülmektedir. Biyogaz ile çalışan lambada aydınlatma alevini arttırmak üzere amyant gömlek ve cam fanus kullanılmaktadır. Cam fanus ışığı sabitleştirdiği gibi çıkan ısıyı geri vererek alevin daha fazla olmasını sağlamaktadır. Biyogazın dizel motorlarında kullanılması durumunda, dizel motorunda bazı düzenlemelerin yapılması sonucunda motorin ile biyogaz belirli oranlarda karıştırılarak kullanılabilir. Bilgin'e (2003) göre bu oran % 18-20'dir.



Şekil 1.5. Biyogaz ile elektrik üreten jeneratör (Afacan, 2008).



Şekil 1.6. Biyogaz ile çalışan lamba (Bilgin, 2003).

1.2.3. Taşıtlarda Kullanım

Biyogaz, benzinle çalışan motorlarda hiçbir katkı maddesine gerek kalmadan doğrudan kullanılabilirdiği gibi içeriğindeki metan gazı saflaştırılarak da kullanılabilir. Şekil 1.7’de biyogazla çalışan otomobil örneği görülmektedir. Bunun yanı sıra motorinle çalışan sabit veya mobil iş makinelerinde de bazı düzenlemeler yapılarak % 80 oranında biyogaz ve %20 oranında motorin kullanmak suretiyle mümkündür (Öztürk, 2005). Biyogaz yüksek yanma sıcaklığına sahip olduğundan dizel yakıtı ile karıştırılarak kullanılabilir.

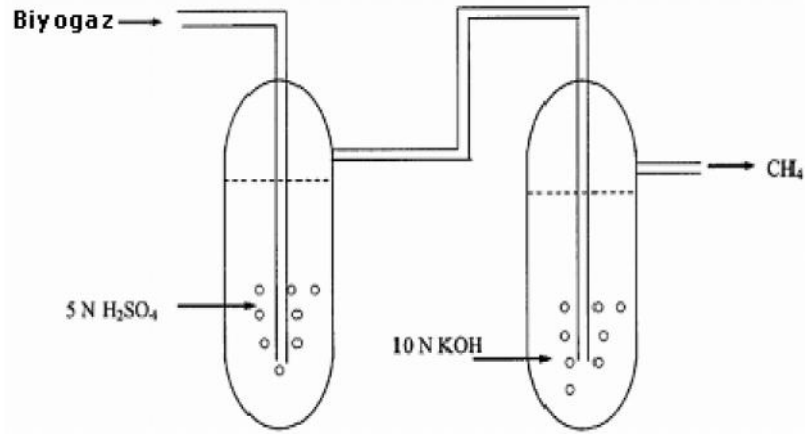


Şekil 1.7. Biyogaz ile çalışan otomobil (Bilgin, 2003).

Biyogaz ayrıca doğal gaza alternatif bir gaz yakıt olarak aşağıdaki alanlarda da kullanılabilir:

- Doğrudan yakma-ısınma ve ısıtma,
- Motor yakıtı olarak kullanım,
- Türbin yakıtı olarak kullanım-elektrik eldesi,
- Yakıt pili yakıtı olarak kullanım,
- Doğalgaz içine katkı olarak kullanım,
- Kimyasalların üretiminde kullanım (URL-2, 2010)

Biyogazın saflaştırılması aşamasında, içerisinde yanmasını ve verimini düşüren CO_2 ve H_2S biyogaz içerisinden uzaklaştırılması gereklidir. Saf metan elde etmek için yöntemlerden bir tanesi biyogazı yıkama metodudur. Şekil 1.8’de görüldüğü gibi Alimahmood üretilen biyogazın belirli miktarlardaki 5N H_2SO_4 ve 10N KOH gibi asit çözeltilerden geçirilerek yapıldığını belirtmiştir (Buğutekin, 2007).



Şekil 1.8. Biyogazı yıkama yöntemi (Buğutekin, 2007)

1.2.4. Fermente Gübrenin Kullanımı



Şekil 1.9. Sıvı gübre ve tarlaya sıvı halde uygulama şekillerinden görüntüler (Bilgin, 2003, Buğutekin, 2007)

Biyogaz tesislerinde biyogaz üretimi sonucunda elde edilen ürün yani gübre sıvı formdadır. Çıkan gübre anaerobik ortamda fermente edildiği ve bitkilere veya çevreye zararlı maddelerden arındığı için tarımsal alanlarda kullanılmaktadır. Fermantasyon aşamaları sonucunda gübrede var olan amonyak kokusu çevreyi rahatsız etmeyecek şekilde giderilmiş olmaktadır. Aynı zamanda metan bakterilerince ot tohumları üzerinde bulunan selüloz maddesi de parçalandığı için gübrenin kullanımı durumunda yabancı ot tohumlarının çimlenmesi önlenmiş olmaktadır. Yabancı ot çıkışıdan kaynaklanan su ve çapalama işleri de bu sebeple ortadan kalkmaktadır. Sera etkisine neden olan metan gazı biyogaza

dönüştürülmesi sonucunda yakılarak karbondioksit olarak atmosfere bırakılması sayesinde zararı azaltılmış olmaktadır.



Şekil 1.10. Havuzlarda suyu alınan ve granül haldeki gübre (Bilgin, 2003).

Sıvı olarak elde edilen gübre kullanım ihtiyacına göre değişik şekillerde kullanılabilir. Bunları şu şekilde sıralamak mümkündür:

1. Sıvı halde özel araçlarla tarlalara serpilerek sıvı gübre haliyle kullanılabilir (Şekil 1.9)
2. Beton veya toprak gübre havuzlarında doğal kurumaya bırakılarak suyunun çekilmesi sonucunda daha sonra granül halde kullanılabilir (Şekil 1.10)

Biyogaz tesisinden elde edilen gübrenin verimi güneş ve yağmur altında olgunlaşan gübreye nazaran % 18-20 artmaktadır. Bu verim artışının yanı sıra fermentasyon sonucu, gübre içerisinde bulunan K_2O , P_2O_5 , organik madde miktarı, kuru madde miktarı ve C/N oranının artmasına da sebep olmaktadır.

1.3. Biyogaz Tesisi Kurulumu

Küçük çiftçiler için biyogaz tesisi kurmak sanıldığı kadar zor bir iş olmamakla birlikte, sistemin önemli ayrıntılarına dikkat edildiği zaman çok kolaylaşır. Bu hususta yapılması gereken, nerede hangi işlemin yapılacağı, nerede hangi malzemenin ve nerede hangi tekniğin kullanılacağı gibi örnek sorularını cevaplamakla başlanabilir. Dünyanın birçok ülkesinde hayvancılıkla uğraşan çiftçiler, iklim şartlarına bağlı olarak çok basit

düzenekli reaktörler yapmaktadırlar. Reaktör yapmak, biraz bilgi ile çiftçinin kişisel becerisine bağlı bir iştir. Her çiftçinin kendi reaktörünü yapabilmesi mümkündür.

1.3.1. Biyogaz Tesis Kurulumunda Dikkat Edilecek Hususlar

Bir biyogaz tesisi kurma aşamasında bazı hususları dikkate almakta fayda vardır. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz:

- Biyogazın ve tesisinin özellikleri nelerdir?
- Tesisin kurulum amacı nedir?
- Tesisten elde edilecek biyogazın kullanım amacı nedir?
- Biyogaz tesisinin kurulacağı yer neresidir?
- Tesis hangi kaynaklarla beslenecektir?
- Tesisin sıcaklığı nasıl sabitlenip korunacak?
- Tesisin kurulacağı bölgede hayvancılık var mı?
- Bulunan hayvanların türü nedir?
- Hayvan sayısı nedir?
- Kullanılacak olan hayvan gübresinin niteliği nedir?
- Sürekli olarak ne kadar yaş gübre mevcuttur?
- Gübre ne şekilde toplanmaktadır?
- Gübre içerisinde toprak, kum bulunuyor mu?
- Gübre biyogaz tesisine nasıl naklediliyor?
- Yaş gübrenin kuru madde oranı nedir?
- Çevrede bitkisel atık var mı?
- Bitkisel atık miktarı ne kadar?
- Çevrede ne tür bitkisel atıklar mevcuttur?
- Çevrede yetiştirilen bitkiler nelerdir?
- Çevrede gıda sektörü ile ilgili bir tesis var mı?
- Bu tesislerin atık miktarı nedir?
- Bu atıkların sürekliliği var mıdır?
- Bitkisel ve hayvansal atık dışında kullanılabilecek başka hammadde kaynakları var mıdır?

- Bu atıkların türü ve miktarı nedir?
- Tesisten çıkan gübre nasıl depolanacak?
- Elde edilen gübre tarlaya ne şekilde taşınıp dağıtılacak?

Bu sorulara verilen cevaplara göre tesisin kapasitesi ve kaç kW elektrik gücüne sahip olacağı ve tesisin maliyeti hesaplanabilir.

Biyogaz tesisleri planlanan amaca göre farklı teknolojiler kullanılarak inşa edilmektedirler.

Biyogaz tesisleri kapasite olarak;

- Aile tipi (6 -12 m³ kapasiteli),
- Çiftlik tipi (50 -100 -150- m³ kapasiteli),
- Köy tipi (100- 200 m³ kapasiteli),
- Sanayi ölçekli tesis (1000 - 10 000 m³ kapasiteli)

şeklinde sınıflandırılmaktadır.

Aile tipi biyogaz tesisleri özellikle Çin'de çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Şekil 1.11'de bir örneği görülmektedir. Geçmiş dönemlerde ülkemizde de yapılan araştırmalar neticesinde biyogaz üretim çalışmalarının yapıldığı görülmektedir. Ancak bu biyogaz üretim tesisleri gerek bilgi gerekse tecrübe eksiklikleri sebepleriyle faydalı olmamıştır. Dolayısıyla o tarihlerde ülkemizde işletilebilmesi için gerekli olan hava ve ısı izolasyonu şartları sağlanamamıştır. Bu yüzden bu tip fermantörler ekonomik olarak çalıştırılamamıştır. Bu tesislerin ekonomik olarak çalıştırılabilmesi için iklim şartlarının ve ısıya gereksinimleri ile ilgili daha detaylı bilgi sahibi olunması gerekmektedir.

Aile tipi biyogaz tesisleri dışındaki diğer tesislerin çoğunda biyogazın oluştuğu fermantörün ısıtılması optimum biyogaz üretimi için gerekli olmaktadır. Gübrelerin fermantasyonu için en uygun ısı 20-35°C arasında olmalıdır (Alçiçek ve Demirulus, 1994).



Şekil 1.11. Sabit kubbeli (Çin tipi) biyogaz tesisi (Bilgin, 2003).

Biyogaz tesislerinde ısı kontrolünün sağlanması amacıyla güneş enerjisinden yararlanılabileceği gibi en pratik ve yaygın kullanılan sistem, tesisin içine yerleştirilen sıcak sulu serpantinlerden yararlanılmaktadır (Bilgin, 2003). Şekil 1.12 ‘de bir biyogaz tesisinin güneş enerjisi ile ısıtılması üzerine yapılmış bir çalışma görülmektedir.



Şekil 1.12. Güneş enerjisi ile biyogaz tesisinin ısıtılması (Bilgin, 2003)

1.3.2. Biyogaz Tesisinin Kapasite Tespiti

Biyogaz tesisleri projelendirilirken Bilgin'in (2003) belirttiği gibi öncelikle kapasitenin tespiti gerekmektedir. Bunun için tesiste, sadece hayvan gübresi kullanılacaksa;

1. Günlük ortaya çıkan gübre miktarı,
2. Hayvanların beslenme şekilleri,
3. Gübrelerin katı madde miktarları

bilinmelidir.

1.3.2.1. Günlük Ortaya Çıkan Gübre Miktarı

Hayvanların gübre verimleri cinslerine göre değişik miktarlarda olabilmektedir. Gübre miktarının hesabında; büyükbaş hayvanlar için 10-20 kg/gün (yaş) gübre verimi kabul edilebileceği gibi canlı ağırlığın % 5-6'sı da günlük gübre miktarına esas alınabilir. Aynı şekilde koyun ve keçi için 2 kg (yaş)/gün veya canlı ağırlığın % 4-5'i günlük gübre üretimi olarak kabul edilebilmektedir. Tavuk için günlük gübre üretimi ise 0,08-0,1 kg (yaş)/gün veya canlı ağırlığın % 3-4'üdür (Bilgin, 2003). Çünkü elde edilecek gübre miktarına göre su ile inceltme işlemi yapılmaktadır. Örneğin bir çiftçi 100 kg. hayvan gübresini inceltmek için 100 litrede su kullanmalıdır. Bu da toplamda 200 litre eder. Birim gübre ağırlığı başına biyogaz oluşumu ve seyreltme oranı tablo 1.7'de verilmiştir.

Tablo 1.7. Birim gübre ağırlığı başına biyogaz oluşumu ve seyreltme oranı (Öztürk, 2005)

Hayvan Türü	Nem Miktarı (% Islak bazda)	Fermentasyon sonu biyogaz üretimi (lt/kg)	Seyreltme Oranı (gübre/su)
Sığır	80-85	40	1/1
Domuz	75-80	70	1/2
Kümes Hav.	70-80	60	1/3
Keçi	75-80	60	2/3
At	80-85	40	2/3
Koyun (45 kg)	75-80	50	2/3
Yetişkin İnsan(çocuk)	75-80 (75-90)	70(70)	3/7

1.3.2.2. Hayvanların Beslenme Şekilleri

Ahırda beslenen hayvanın tüm gübre ürünleri kullanılabilirken, dışarıda veya merada beslenen hayvanlar için aynı durum söz konusu değildir. Bilgin (2003), hayvanların mera da veya ahırda beslenmeleri günlük gübre üretimini etkilediğini belirtmiştir.

1.3.2.3. Gübredeki Katı Madde Oranı

Optimum biyogaz oluşumu için tesis içi gübre-su karışımının katı madde oranının % 7-9 olması gerekmektedir. Katı madde oranları; sığır gübresinin % 15-20, tavuk gübresinin % 30, koyun gübresinin ise % 40 civarındadır (Bilgin, 2003).

Bilinmesi gereken diğer bir konu ise hayvan gübrelerinin değişik sıcaklıklarda optimum alıkoyma-bekleme süreleri ve biyogaz üretim miktarlarıdır.

Bu bilgiler ışığında sürekli besleme yapılan bir sistemde 20 büyükbaş hayvanı olan bir çiftçi ailesi için gerekli olan biyogaz tesisinin kapasite hesabı Bilgin (2003) tarafından aşağıda verilmiştir;

Kabuller:

Fermantör sıcaklığı:	30°C
Üretilen gübre miktarı:	10 kg (yaş)/gün/hayvan
Gübrenin katı madde oranı:	% 20
Alıkoyma-bekleme süresi:	30 gün
Gübrenin yoğunluğu:	975 kg/m ³
Günlük gübre üretimi:	20x10 = 200 kg (ağırlık olarak) 200/975 = 0.205 m ³ (hacim olarak)
Tesise günlük beslemede verilecek su miktarı:	200 kg (% 10 katı maddenin sağlanması için gerekli su miktarı)
Tesisin hacmi:	200 x 2 x 30 /1000 = 12 m ³

12 m³ kapasiteli bir biyogaz tesisinden yukarıda belirtilen koşullarda günlük elde edilebilecek biyogaz miktarı 6-7 m³ civarındadır. Bu hesabı tavuk gübresi için yaptığımız takdirde, yine tesisi 30 °C'de çalıştırdığımızı kabul edersek, 12 m³ kapasiteli bir tesis için

gerekli olan tavuk sayısı yaklaşık 2000'dir ve bu tesisten günde 14-15 m³ biyogaz elde edilebilir.

Aşağıda tablo 1.8'de tavuk ve büyükbaş hayvan işletmelerinin hayvan sayılarına bağlı olarak kurabilecekleri biyogaz tesislerinin; büyüklüğü, günlük biyogaz üretimleri ve bu gazın etkili eşdeğer ısı karşılığı LPG miktarları verilmiştir.

Tablo 1.8. Hayvan sayılarına göre tesis büyüklüğü, gerekli gübre miktarı, biyogaz miktarı ve eşdeğer LPG miktarı (Bilgin, 2003).

İşletmelerin Hayvan Sayısı	Uygun Tesis Büyüklüğü (m ³)	Günlük Beslemeler İçin Gereken Gübre (kg(yaş)/gün)	Üretilebilecek Biyogaz Miktarı (m ³ /gün)	Eşdeğer LPG Miktarı (kg)
2500 adet tavuk	15	200	17	7
5000 adet tavuk	30	400	34	14
10000 adet tavuk	60	800	68	28
20000 adet tavuk	120	1600	136	56
50000 adet tavuk	300	4000	340	140
5 adet büyükbaş	5	75	2.5	1
10 adet büyükbaş	10	150	5	2
50 adet büyükbaş	50	750	25	10
100 adet büyükbaş	100	1500	50	20

Kabuller:

Fermantasyon sıcaklığı: 30 °C,

Gübrelerin katı madde oranı: Büyükbaş hayvan için 15 kg (yaş)/gün,
tavuk için 0.08 kg (yaş)/gün,

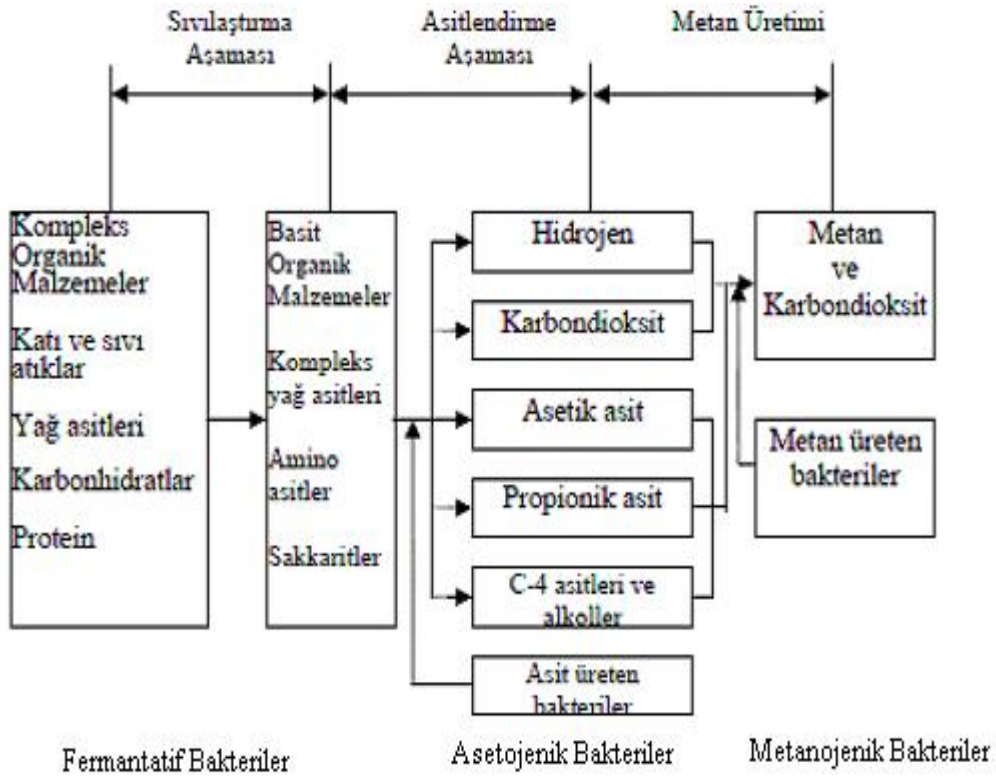
Alıkoyma-bekleme süresi: Büyükbaş hayvan için 30 gün,
tavuk için 24 gün.

1.4. Biyogaz Üretimi

Biyogaz üretiminde yağ, protein ve karbonhidrat gibi kompleks maddeler, hidroliz sürecinde şekarlere, amino asitlere ve yağ asitlerine çevrilir. Bu ürünler sonraki aşamada asidojenler tarafından bozularak uçucu yağ asitleri, CO₂ ve hidrojene dönüştürülür. Son aşamada bu ürünler metanojenler tarafından metan gazına çevrilir (Yiğit vd.,2009).

Biyogaz üretimi karmaşık ve farklı rolü olan mikroorganizmaların bulunduğu karmaşık bir biyokimyasal süreçtir. Biyogaz üretimi şekil 1.13’de gösterildiği gibi üç değişik bakteri grubunun etkinliğini gösterdiği üç temel aşamada gerçekleşmektedir. Bunlar:

1. Fermantasyon ve hidroliz (sıvılaştırma) aşaması
2. Asetik asidin oluşumu aşaması
3. Metan gazının oluşumu aşaması



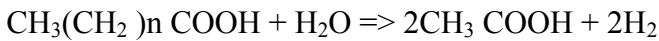
Şekil 1.13. Bakteri gruplarının oluşum kademeleri (Eryaşar, 2007).

1.4.1. Fermantasyon ve Hidroliz (Sıvılaştırma) Aşaması

Bu aşamaya; Van Haandel ve Lettiga, Speece, Verma, Metcalf&Eddy, Ostrem ve Buekens'in ifade ettikleri gibi karmaşık yapıdaki moleküllerin fermantasyon bakterileriyle hidrolize olabilen çözünebilir bileşiklere daha sonra basit yapıli moleküllere dönüştürölmesine hidroliz adı verilmektedir (Arıkan, 2008). Hidroliz ürünleri suda çözünebildiği için bu aşamaya aynı zamanda sıvılaştırma aşaması adı verilmektedir. Fermantative ve hydrolytic bakteriler olarak isimlendirilen bakteri grupları organik maddenin üç temel ögesi olan karbon hidratları (C6 H10 O5), proteinleri (6C 2NH3 3H2O) ve yağları (C5 OH9O O6) parçalayarak CO2, asetik asit ve büyük bir kısmını da çözülebilir uçucu organik maddelere dönüştürürler. Bu son gruptaki uçucu organik maddelerin büyük bir bölümünün uçucu yağ asitleri olması nedeniyle, bu aşamaya uçucu yağ asitlerinin [CH3 (CH2)n COOH] oluşum aşaması adı da verilir (URL-1, 2010).

1.4.2. Asetik Asidin Oluşumu

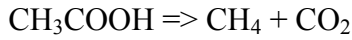
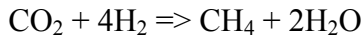
Bu aşamada, birinci aşama sonucunda açığa çıkan ve uçucu yağ asitlerini asetik aside dönüştüren asetogenik (asit oluşturan) bakteri grupları devreye girmekte ve bir kısım asetojenik bakteriler uçucu yağ asitlerini asetik asit ve hidrojene dönüştürmektedir. Bu aşamaya asitlendirme (asidifikasyon) aşaması denilmektedir. Anon'un ifade ettiğii gibi, bu asitlendirme aşamasında asetik asit üretiminde bakterilerin karbona ve oksijene ihtiyacı vardır. Çözünmüş oksijeni veya çevredeki oksijeni kullanırlar. Böylece metan bakterileri için önemli olan anaerobik ortamın oluşmasını sağlarlar demiştir. Eraslan, bu aşamada oluşan formik asidin büyük bir kısmı dönüşüme uğrayarak ortama hidrojen ve karbondioksit gazı verir. Ayrıca H2S bu aşamada oluşur şeklinde ifade etmiştir (Eryaşar, 2007).



Diğer bir kısım asetojenik bakteri grubu ise açığa çıkan karbondioksit ve hidrojeni kullanarak asetik asit oluşturmaktadır. Ancak bu ikinci yolla oluşan asetik asit miktarı, birinciye oranla daha azdır. (URL-1, 2010)

1.4.3. Metan Gazının Oluşumu

Anaerobik arıtımın üçüncü aşaması olan metan oluşum evresi metanojenler olarak bilinen mikroorganizma grubuyla gerçekleştirilir. Anaerobik fermantasyonun bu son aşamasında metan oluşturan bakteri grupları devreye girmekte ve bir kısım metan oluşturan bakteriler CO₂ ve H₂'yi kullanarak metan (CH₄) ve suyu (H₂O) açığa çıkarırlarken, öteki bir grup metan oluşturan bakteriler ise ikinci aşama sonucunda açığa çıkan asetik asidi kullanarak CH₄ ve CO₂ oluşturmaktadırlar.



Ancak bu aşamada birinci yolla oluşan metan miktarı, ikinci yolla elde edilen metan miktarından daha azdır. Üretilen tüm metanın %30'u birinci yolla %70'i ikinci yolla yapılmaktadır (URL-1, 2010). Tüm uçucu organik asitler ve çözünen organik bileşikler biyogaza dönüşmemektedir. Bazı organik maddeler arıtılmadan deşarj olur (Öztürk, 2005).

Elango'nun ifadesine göre, metanojenik bakteriler sıcaklık değişimlerine duyarlıdır (Arıkan, 2008). Bu sebeple tüm bu aşamaların yanı sıra üreteç sıcaklığının da belirli bir seviyede tutulması gereklidir.

1.5. Biyogaz Oluşumunu Etkileyen Faktörler

Biyogaz üreteğine doldurulan gübreler su ile karıştırılarak üretece yüklenir. Böylece gübrenin üreteç içerisinde akışkanlığı sağlanır. Üretece doldurulan bu gübrelerin boyutu %5'den büyük olmamalıdır. Ayrıca gübre içerisindeki katı madde oranı %5-12 arasında değişir. %20'den fazla katı madde içeren hayvan gübresinin seyreltmeden üretece vermek

sakıncalıdır (Öztürk, 2005). Sürekli fermentasyon sisteminde en az günde bir defa sistem koşullarını etkilemeden sisteme dolum yapılması tavsiye edilmektedir.

Genel olarak biyogaz oluşumuna etki eden mikrobiyolojik bakterilerin etkileneceği her faktör biyogaz üretimini de etkiler. Bir bakterinin yaşamsal faaliyetlerini devam ettirebilmesi için belirli sıcaklık ve pH değerlerine ihtiyacı vardır. Aynı zamanda toksisite de bakterilerin faaliyetlerini direk olarak etkiler. C/N oranı (Karbon / Azot) bir bakterinin ayrıştırma hızına etkisi bulunduğu için önemlidir. C/N oranının dar olması bakterilerin o atığı daha hızlı ayrıştırması anlamına gelir. Son olarak da biyogaz üretiminin yapıldığı reaktörde organik yükleme hızı ve hidrolik bekleme süresi de biyogaz üretimine doğrudan etkiler.

1.5.1. Üreteç Sıcaklığı

Metanojenik bakteriler çok yüksek ve çok düşük sıcaklık değerlerinde aktif olmamaktadır. Bu yüzden biyogaz üretiminin gerçekleşeceği üreteç (reaktör) sıcaklığı biyogazın üretimine veya hızına doğrudan etki etmektedir. Bu bakteriler sıcaklık değişimlerine karşıda oldukça hassastırlar. Üreteçteki reaksiyon esnasında bu sıcaklık aralıkları korunmalıdır. Üreteç içerisindeki sıcaklık 22 °C'nin üzerinde tutulduğu zaman daha iyi performans sağlanabilir. Sıcaklık 22 °C'nin altına düştüğü zaman biyogaz üretimi düşer. Bu sıcaklıkta biyogaz tesisinin işletilmesi ekonomik değildir. Çevre sıcaklığı 10°C'nin altına düştüğü zaman ise biyogaz üretimi durabilmekte veya çok düşük seviyede olabilmektedir. Üreteç içerisindeki sıcaklık, bekleme süresini ve reaktör hacmini de belirler. Anaerobik fermentasyonun üçüncü aşamasında devreye giren ve metan oluşumunu sağlayan metan bakterileri, fermentasyon ortamının sıcaklığına göre üç gruba ayrılır. Bunlar:

1. *Psychrophilic* (Sakrofilik) bakteriler optimum faaliyet sıcaklığı: 5- 25 °C
2. *Mezophilic* (Mezofilik) bakteriler optimum faaliyet sıcaklığı: 25- 38 °C
3. *Thermophilic* (Termofilik) bakteriler optimum faaliyet sıcaklığı: 50- 60 °C

Ancak değişik kaynaklarda bu sıcaklık aralıkları farklı verilebilmektedir. Örneğin Şerit vd. (2009) psikofilik sıcaklık aralığı 12-20 °C, mezofilik sıcaklık aralığı 20-40 °C, termofilik sıcaklık aralığı 40-65 °C şekilde ifade etmişlerdir.

Sakrofilik (psikofilik) bakteriler deniz ve göl diplerindeki tortullar ile bataklıklar, termofilik bakteriler ise yüksek sıcaklıklardaki volkanik ve jeotermal bataklıklar içerisinde yaşamaktadırlar. Bu üç bakteri grubu ile yapılan fermantasyonda, sakrofilik, mezofilik ve termofilik fermantasyon ile aynı adı almaktadır. Bu bakteri gruplarından 1. ve 3. grupta yer alan sakrofilik ve termofilik bakteriler sığır gübresi içerisinde yaşamamaktadır. Sığır gübresinde mezofilik bakteriler bulunmaktadır. Biyogaz tesisinde sığır gübresi kullanılması durumunda, mezofilik fermantasyon uygulanır (URL-1, 2010).

Üreteç içerisinde gerçekleşen reaksiyonda metan üretim hızı, sıcaklık artışı ile artmaktadır. Mezofilik sıcaklık şartlarına göre termofilik sıcaklık şartlarında gerçekleşen reaksiyonlar daha hızlı olmaktadır. Termofilik şartlarda metan üretim hızı mezofilik şartlara göre 2 kat daha fazladır. Dolayısıyla reaktör hacmi mezofilik şartlara göre yarı yarıya daha küçüktür. Termofilik şartlarda mezofilik şartlara göre aynı hidrolik bekleme süresinde daha yüksek organik yükleme yapılabilir. %15.8 katı madde içeren hayvan gübresi termofilik şartlarda çalışan bir reaktörde çürütülürken gerekli hidrolik bekleme süresi 6.3 gün iken mezofilik şartlarda bu süre 10.4 gündür (Öztürk, 2005). Bunların yanı sıra termofilik şartlar için ilave ısıya ihtiyaç duyulur. Ancak amonyak miktarı, yüksek sıcaklıklarda artmaktadır. Bu durum üreteç performansını ve verimliliği olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Sindiricilerdeki sıcaklığın ani olarak değişmesi gerek asetojen, gerekse metan bakterilerinin faaliyetlerini olumsuz yönde etkiler (Şerit vd, 2009). Biyogaz üreteç sıcaklığını belirli bir sevide tutmak için elektrik enerjisinden, güneş enerjisinden, biyogazın yakılarak ısı elde edilmesi vb. sonucu üreteç içerisine veya çevresine yerleştirilen tesisat sayesinde çeşitli kaynaklardan faydalanılabilir. Koçar vd. (2007) tarafından Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsünde güneş enerjisi ile ısıtılan kesik ve sürekli beslemeli sistemler üzerine gerçekleştirilmiş olan bir çalışmada, güneş enerjisi kullanılarak ısıtılan sistemde, kullanılan biyogaz oranı %20-33'ten %5-8 civarına gerilediğini tespit etmişlerdir.

Ayrıca biyoreaktörlerde biyokimyasal reaksiyon esnasında psikofilik, mezofilik ve termofilik sıcaklık aralıklarında meydana gelebilecek ısı değişim miktarları aşağıda görülmektedir. Öztürk (2005), bu sıcaklık aralıklarının korunması gerektiğini ifade etmiştir.

Psikofilik şartlarda $\pm 2^{\circ}\text{C}$ /saat

Mezofilik şartlarda $\pm 1^{\circ}\text{C}$ /saat

Termofilik şartlarda $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ /saat

Üreteçler (reaktörler) yer altında inşa edildikleri zaman gün içerisindeki sıcaklık değişimlerinden büyük ölçüde korunmuş olurlar ve sıcaklık değişiminden minimum etkilenirler. Tesisler mümkünse yerden bir metre derinlikte kurulmalıdır. Ayrıca üreteçlerin çevresel şartlardan kaynaklanan etkileri azaltmak ve ısıнын sabit değerlerde kalabilmesi için yalıtılmalıdır. Mikroorganizmalar kısa süreli sıcaklık değişikliğine karşı dayanıklıdır. Toprak üzerinde inşa edilen üreteçlerin (reaktörlerin) sıcaklıklarını yalıtıma ek olarak, dış kısımları siyah renge boyayarak, çevresel şartlardan en az etkilenmeleri için üzerlerine örtü veya sera yapılarak korunmaya çalışılır. Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü tarafından sığır ve tavuk gübrelerinin değişik sıcaklıklarda biyogaz verimleri ile ilgili yapılmış olan çalışma sonucu tablo 1.9’da verilmiştir.

Tablo 1.9. Sığır ve tavuk gübrelerinin değişik sıcaklıklarda biyogaz verimleri (Bilgin, 2003).

Fermantör Sıcaklığı (°C)	Sığır Gübresi (l/m³)	Tavuk Gübresi (l/m³)
9	101.4	253.3
18	339.7	448.0
27	509.8	1008.9
36	686.0	1266.2

1.5.2. Reaktör Isıtma Sistemleri

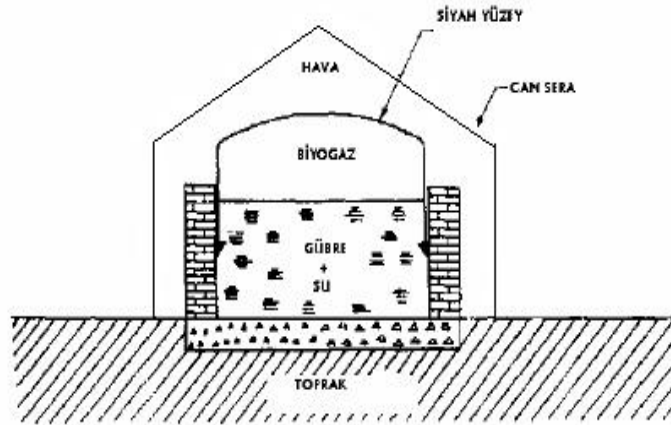
Reaktörlerin inşası aşamasında ısı izolasyonunun sağlanması gereklidir. Fakat bu izolasyon yeterli olmamaktadır. Bu nedenle sıcaklığın belirli bir seviyede tutulabilmesi için dışarıdan sistemi ısıtan bir ısı kaynağına ihtiyaç vardır. Bunlar; üretilen biyogazın yakılarak elde edilen ısıнын sistemde kullanılması, elektrik enerjisi kullanılarak sistemin ısıtılması, güneş enerjisinden faydalanılarak sistemin ısıtılması ve reaktör koyu renklere boyanarak veya sera gibi bir muhafaza içerisine alınarak pasif ısıtma şeklinde adlandırılan sistemle ısıtılmaz.

Isı enerjisinin reaktörü ısıtmak için aktarılma şekillerini şu şekillerde ifade edebiliriz. Isıнын; bir serpantin yardımı ile reaktör içerisine transfer edilmesi olayına dahili ısı eşanjörlü sistem, materyalin bir pompa vasıtasıyla hidrolik olarak karıştırılması esnasındaki ısı transferi olayına harici ısı eşanjörlü sistem, ısıtıcı akışkanın reaktör

çevresine yapılmış olan ısı ceketlerine gönderilmesiyle gerçekleşen ısı transfer şekline ısı ceketli sistem ve özellikle büyük tesislerde elde edilen buharın reaktör içerisine veya besleme materyaline enjekte edilerek gerçekleştirilen ısı transfer şekline de buhar enjeksiyonlu sistem adları verilmektedir. Dahili ısı eşanjörlü sistemlerde ısı kayıplarının en az düzeyde olması sebebi ile en fazla tercih edilen sistemlerden biridir. Ancak özellikle mezofilik reaktörler için serpantin sıcaklık değerinin belirli seviyenin (50-60 °C) üzerine çıkarılması bu şartlarda faaliyet gösteren bakteriler için sorun olması sebebi ile kontrol altında tutulmalıdır.

1.5.2.1. Güneş Enerjisi İle Biyogaz Isıtma Sistemleri

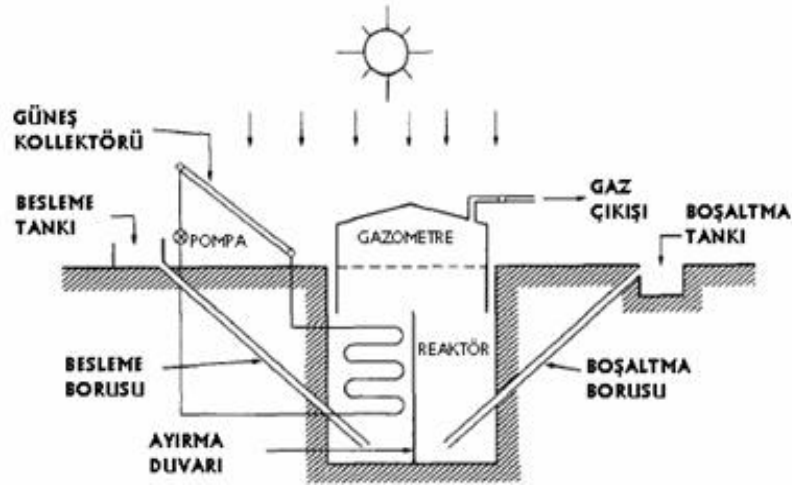
Güneş dışında kullanılan elektrik, biyogaz ve fosil kökenli enerji kaynaklarının kullanımı ile ısıtma maliyeti yüksek olmaktadır. Bu sebeple güneş olduğu müddetçe güneş enerjisi kullanımı daha ekonomik ve verimlidir. Güneş enerjisi kullanılarak biyogaz sistemlerinin ısıtılması aktif ve pasif olmak üzere iki şekilde olmaktadır.



Şekil 1.14. Sera ile entegre edilmiş biyogaz sistemi (Usmani vd., 1996).

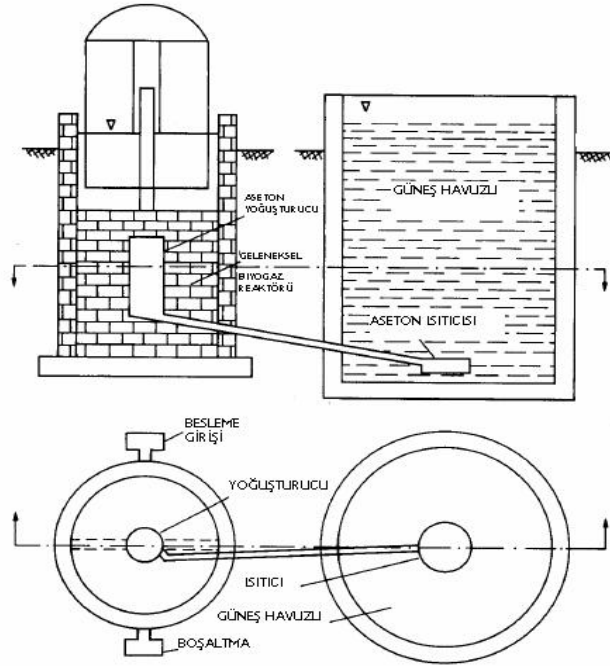
Pasif ısıtmada, şekil 1.14’de gösterildiği gibi üzeri bir sera ile kapatılan reaktörün ısı kayıpları en az düzeye düşürülmekte ve diğer bir uygulamada ise açıkta olan reaktör yüzeyleri siyah gibi koyu renkli boya ile boyanarak güneş ışınının soğurulması şekillerinde olmaktadır. Bu ısıtma sisteminde sıcaklık, kış aylarında ve güneş ışınımı olmadığı zamanlarda düşmektedir.

Aktif ısıtma yönteminde ise güneş enerjisi ile elde edilen ısı sayesinde reaktör ısıtılarak sıcaklık belirli bir seviyede tutulmaktadır. Isıtılan akışkan sirkülasyon pompası vasıtasıyla ısı eşanjörüne gönderilmektedir. Tiwari ve arkadaşları şekil 1.15’de sistemin bir örneğini belirtmişlerdir. Bu sistemlerde güneş ışınımı olmadığında veya elde edilen ısıнын yetersiz olduğu durumlarda diğer bir ısıtıcı sistem tedbir olarak kullanılabilir.



Şekil 1.15. Güneş enerjisi destekli biyogaz sistemi (Eryaşar, 2007).

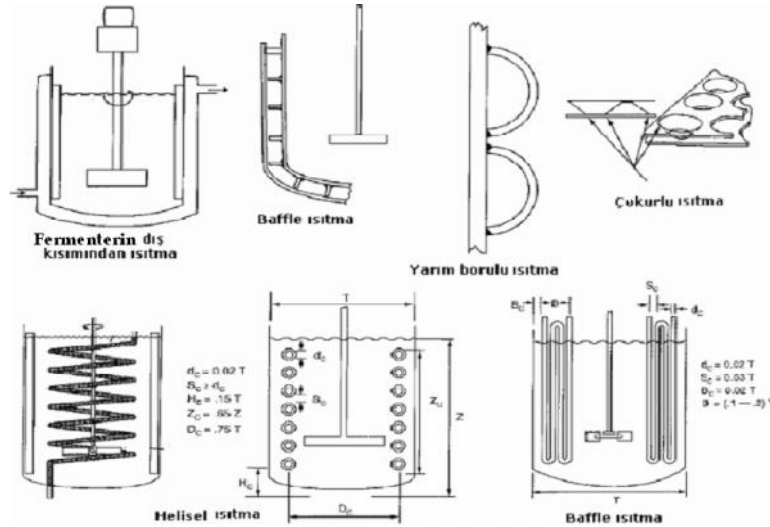
Reaktör ısıtmasında güneş enerjisinden yararlanılan farklı bir sistem de, şekil 1.16’da görülmektedir. Subramanyam, bu sistemde güneş havuzundan yararlanılmasını önermektedir. Tuz çözeltisinin bulunduğu güneş havuzunda 100 °C sıcaklığa erişilebileceği belirtilmektedir. Bu sıcaklık seviyelerindeki akışkanın, doğrudan ısı eşanjörü yardımıyla reaktör ısıtmasında kullanılması, metan bakterileri üzerinde öldürücü etki yaratacağı için, asetonun kullanıldığı bir ısı aktarım mekanizması geliştirilmiştir. Asetonun kaynama sıcaklığı 55 °C’dir. Güneş havuzu içindeki ısıtıcı hazne içinde bulunan aseton buharlaşmakta ve ısınıı reaktör içerisindeki yoğuşturucuda sisteme aktarıp yoğuşarak ısıtma haznesine geri dönmektedir. Bu çevrim sayesinde reaktör ısı kayıpları karşılanmaktadır. Bu sistemde de sıcaklığın istenilen seviyede sabit kalmasını sağlayacak sıcaklık otomasyonu ve yardımcı ısıtıcı bulunmamaktadır (Eryaşar, 2007).



Şekil 1.16. Güneş havuzu destekli biyogaz sistemi (Eryaşar, 2007).

1.5.2.2. Karıştırma Sisteminin Isıtılması

Biyogaz ısıtma sistemlerinin diğer bir yolu da karıştırma düzeneği sayesinde ısının reaktör içerisine aktarılması şeklindedir. Reaktör içerisindeki materyale ısının homojen şekilde dağılmasını sağlamanın etkili yollarından biridir. Şekil 1.17’de çeşitli karıştırma sistemlerinin ısıtılması ile ilgili şekiller görülmektedir.



Şekil 1.17. Karıştırma sisteminin ısıtılması (Buğutekin, 2007)

1.5.3. Bekleme Süresi

Bekleme süresi veya diğer bir ifade şekli ile hidrolik bekleme süresi (HBS), biyogaz kaynağının üreteç içerisinde uygun şartlarda alıkondduğu veya bekleme süresidir. Organik maddeler bu süre içerisinde bakteriler tarafından çürütülmektedir. Bekleme süresi, kullanılan atığın türüne, üreteç çeşidine ve sıcaklığa göre değişebilir.

Bekleme süresi aşağıdaki denklemle ifade edilmektedir.

$$\text{Bekleme Süresi (HBS)} = \frac{\text{Reaktör Hacmi}}{\text{Günlük Debi}} = \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3/\text{gün}} \quad (1.1)$$

Seçilen bekleme süresi içinde besi maddelerinin % 70–80 oranında biyokimyasal reaksiyona girerek bertaraf olduğu kabul edilir. Biyogaz tesislerinde işletme sıcaklığına bağlı olarak hidrolik bekleme süresi (HBS) 20 ile 120 gün arasında değişir. Tropikal bölgelerde HBS 40-50 gündür. Çin'in soğuk bölgelerinde bu süre takriben 100 gündür. Sürekli beslemeli sistemlerde, bakterilerin reaktörlerden kaçmasını önlemek ve bakterilerin iki katına çıkmasını temin için HBS süresi daha uzun seçilebilir (Öztürk, 2005).

HBS süresinin düşürülmesi, çürütülecek malzemeye bağlı olarak değişir. Hayvan atıklarında HBS'ni etkileyen en önemli basamak hidroliz kademesidir. Sığır gübresi daha fazla miktarda selüloz ve semi selüloz içerir. Karbonhidratlar ve yağlar daha kolay hidrolize olurken selülozlar daha zor hidrolize olurlar. Mezofilik şartlarda ortalama HBS aşağıda verilmiştir.

Sıvı Sığır Gübresi	12 - 30 gün
Saman Yataklı Sığır Gübresi	18 - 36 gün
Sıvı Domuz Gübresi	10 - 25 gün
Bitki ile Karıştırılmış Sığır Gübresi	50 - 80 gün
Sıvı Tavuk Gübresi	20 - 40 gün

Domuz gübresinde yağ oranı yüksektir ve yağ çabuk hidrolize olduğu için hidroliz süresi diğerlerinden daha kısadır. Reaktör sıcaklığı arttıkça hidrolik bekleme süresi düşer. Yüksek sıcaklıkta kimyasal reaksiyonlar daha kısa sürede gerçekleşir. Dolayısıyla hidrolik bekleme süresini uygulanacak sıcaklığa göre seçmek gerekir.

1.5.4. pH Değeri

pH bir cözeltinin asit veya baz olma özelliğinin şiddetini gösteren bir terimdir. Hidrojen iyonunun aktivitesini göstermektedir. pH değeri düşük ise ortam asidik, pH değeri yüksek ise ortam bazik demektir.

Metanojenler pH değışimine hassastırlar ve buna bağlı olarak da metan üretimindeki aktivasyonları değışiklikler gösterir. Metan oluşturunu bakteriler için en uygun pH değeri nötr veya hafif alkali değerioldür. Anaerobik şartlarda fermentasyon işlemin devam ederken 7-7.5 arasında değışir. pH değeriinin 6.7 düzeylerine düşmesi durumunda bakteriler üzerinde toksit etki yapar. Asit oluşturunu bakterilerin ise sayısı artarak pH'ın düşmesine ve metan oluşumunun durmasına sebep olabilirler. Bu gibi durumlarda birinci yöntem olarak reaktöre organik madde yüklenmesi kesilerek asit oranının düşmesi sağlanır. Şerit ve arkadaşları (2009), metan üreten bakterilerin aktivasyonu için en uygun pH aralığının 6.8-7.4 olduğunu ifade etmişlerdir. Farklı kaynaklarda bu değeri aralığı farklı ifade edilebilmektedir. İkinci yöntem olarak ta pH'ın kararlı bir hale gelebilmesi için kimyasal maddelerde kullanılabilmektedir. Bu şekilde pH derhal kararlı hale gelebilir. Bu kimyasallardan bir tanesi sönmüş kireç olarak bilinen kalsiyum hidroksittir. Öztürk (2005), kireç gibi soda (sodyum bikarbonat) cözeltisinin de ilave edilebileceğini ve sodyum bikarbonatın biraz pahalı olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca her iki maddenin Türkiye'de bol miktarda bulunduğunu da belirtmiştir.

1.5.5. Toksisite

Mineral iyonları, ağır metaller ile deterjan gibi maddeler biyogaz tesislerinde bakterilerin gelişimi üzerinde olumsuz etkiler oluşturunlar. Bu maddelerin reaktörlere sızması ile üretimin yavaşlaması veya durması söz konusu olabilmektedir. Az miktarda mineral iyonlar (sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, amonyum ve kükürt) bakterilerin büyümeleri geliştirirken ağır metaller ve amonyum bakteriler üzerinde toksik etki yapar. Benzer şekilde bakır, nikel, krom, çinko, kurşun gibi ağır metaller çok düşük konsantrasyonlarda bakterilerin gelişmesinde olumlu etki yaparken yüksek konsantrasyonlarda toksik etkisi yaparlar. Sabun gibi deterjanlar, antibiyotikler, dezenfektanlar, organik solventler bakterilerin metan üretim kapasitelerini düşürürler.

Tavuk yetiştiriciliğinde yemlere antibiyotik katılması, gaz üretiminde tavuk gübrelerinin kullanıldığı sistemlerde toksisite etkisi yapmaktadır. Bu şekildeki yemlerle beslenen tavukların gübrelerinde de antibiyotikler bulunmakta ve bu antibiyotikler metan oluşturuıcı bakteriler üzerinde olumsuz etki yapmaktadır. Dolayısıyla ilaç verilmiş olan hayvanların gübreleri biyogaz üretimine dahil edilmemelidir. Ayrıca bu maddelerin hayvan gübrelerine karışması önlenmelidir.

1.5.6. C/N Faktörü

Karbon ve azot gibi elementler anaerobik bakteriler için temel besinlerdir. Anaerobik bakteriler karbonu enerji elde edebilmek için kullanmaktadırlar. Azot ise bakterilerin büyümesi ve çoğalması için gerekli olan diğer maddedir. Organik madde içerisindeki karbonun en önemli kaynağı protein, nitrat ve amonyaktır. Şayet organik madde de istenilen oranda bu maddeler yoksa başka organik maddeler karıştırılarak istenilen oran sağlanabilir. Tüm besi maddeleri, hayvan gübreleri, insan atıkları, mutfak atıkları vb. belli oranlarda karbon, azot ve oksijen içerirler. C/N oranı, biyogaz elde edilecek olan atık için uygun değerlerde olmalıdır. Oran 23/1 düzeyinden fazla ve 10/1 oranından az olmamalıdır. Çoğu hayvan gübresi bu oranları sağlamaktadır. Azot oranının fazla olması amonyak oluşumu sebebiyle biyogaz üretimini olumsuz etkilemektedir. Yapılmış olan çalışmalarda hayvan gübresi içerisindeki azot'un (N) kaynağının idrar olduğu belirtilmiştir.

Hayvan gübresinden biyogaz üreten atıklarda C/N oranı 15/1 ila 30/1 arasında değişir. Çoğu taze hayvan gübreleri bu oranı sağlar. C/N oranı 15/1 ila 30/1' i sağlıyorsa hayvan gübresini ayrıca ayarlamaya gerek yoktur. Çeşitli hayvan gübrelerine ve evsel/tarımsal atıklara ait kuru bazda C, N, C/N oranı ve nem miktarları tablo 1.10'da verilmiştir (Öztürk, 2005).

1.5.7. Organik Madde Yükleme Hızı

Organik yükleme hızı, birim hacim (m^3) reaktörlere günlük olarak beslenen organik madde miktarıdır. Biyogaz üretim tesislerinde bakteriler organik yükleme hızına karşı

oldukça hassastırlar. Organik yükleme hızının mümkün oldukça alt seviyede tutulması gereklidir. Aksi halde pH seviyesi düşerek gaz oluşumunu tamamen durdurabilmektedir.

Tablo 1.10. Organik maddelerin C/N oranı (Öztürk, 2005)

Gübre	C %Kuru	N %Kuru	C/N Oranı	Taze Gübredeki Nem Oranı (%)	Su ile Seyreltme
Sığır Gübresi	30	1.66	18	80-85	1:1
Koyun Gübresi	83.6	3.80	22	75-80	1:1
Kümes Hav. Güb.	87.5	6.55	14	70-80	1:3
Domuz Güb.	76	3.8	20	75-80	1:2
At Güb.	33.4	2.3	15	80-85	2:3
Kaz	54	2	27	70-80	2:3
Güvercin Güb.	50	2	25	70-80	1:3
İdrar	15	15	1	90-95	
Kan	36	12	3	90-95	
Balık Atığı	56	7	8	55-75	
Kesim hane Atığı	64	8	8	55-75	
Çiftlik Güb.	42	3	14	75-80	
Evsel ve Tarımsal Atıklar					
İnsan Dışkısı	48	6.0	8	50-70	3:7
İdrarlı İnsan Dışkısı	70	7.0	10	50-70	
Patates Kabuğu	37.5	1.5	25	50-60	
Mutfak Atığı	62.5	2.5	25	5-15	
Ekmek	50	2	25	50-60	
Gazete	40	0.05	800	5-15	
Taze çim	48	4	12	40-60	
Yulaf samanı	50.4	1.05	120	20-40	
Pirinç samanı	18	0.3	60	20-40	
Yapraklar	55	1.0	55	25-40	
Yer fıstığı Kabuğu	40	2.0	20	25-40	
Soya fasulyesi sapı	64	2.0	32	25-40	
Ağaç yaprakları	75	1.5	50	40-60	
Şeker kamışı	45	0.3	150	25-40	
Soya fasulyesi	17.5	3.5	5	10-15	
Pamuk tohumu	12.5	2.5	5	10-15	
Hardal	39.0	1.5	26	10-15	
Su sümbülü	30.4	1.9	16	85-90	

Çeken, düzenli bir gaz üretimi ve sıcaklık kontrolünü sağlamak için çürütücüyü sık aralıklarla, örneğin günde birkaç kez beslemekte yarar olduğunu ve besleme sıklığının artması organik maddenin parçalanma hızını yükselttiğini belirtmiştir (Gül, 2006).

Yükleme hızının yanı sıra karışımdaki katı madde miktarının sabit tutulması da düzenli bir gaz üretimi için gereklidir.

$$\text{Günlük Besleme Miktarı (litre/gün)} = \frac{\text{Üreteç Hacmi (litre)}}{\text{Bekletme Süresi (gün)}} \quad (1.2)$$

Bilgin (2003), Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü tarafından değişik besleme aralıklarında sığır ve tavuk gübrelereinden elde edilen biyogaz miktarları ile ilgili yapılmış olan çalışma sonucunu şöyle ifade etmiştir. Fermantör sıcaklıkları 30 °C’de sabit tutularak her gün, üç günde bir, beş günde bir ve yedi günde bir besleme yapılmıştır. Sığır gübresinden en yüksek biyogaz verimi, beş günde bir beslenen konudan sağlanırken (785.7 l/m³) tavuk gübresinden en yüksek biyogaz verimi her gün beslenen konudan elde edilmiştir (1099.7 l/m³).

1.5.8. Katı Madde İçeriği

Katı madde, gübrenin sudan ve nemden arınmış hali şeklinde ifade edilebilir. Üreteç (reaktör) içerisine konulacak olan atıkların katı madde oranı, üretilcek biyogaz miktarını önemli ölçüde etkiler. Fermantöre doldurulan organik madde + su karışımında ideal katı madde oranı %8 - %10 arasında olmalıdır (Yılmaz,1996). Optimum biyogaz oluşumu için tesis içi gübre-su karışımındaki katı madde oranının % 7-9 olması gerekmektedir. Katı madde oranları; sığır gübresinin % 15-20, tavuk gübresinin % 30, koyun gübresinin ise % 40 civarındadır (Bilgin, 2003).

Anaerobik sistemlerde maksimum biyogaz üretim veriminin reaktöre verilen hammaddedeki katı maddenin kütlece %6 ile %10 arasında olduğunda gerçekleştiği ve metan üretim veriminin, kütlece %12 katı madde oranının aşılması durumunda ise düştüğü görülmektedir (Ardıç ve Taner, 2004).

Anaerobik ayrışma ortamındaki katı madde oranının çok yüksek olması karıştırma işlemini zorlaştırmaktadır. Bu aynı zamanda karıştırma için harcanan enerjinin daha fazla olacağı anlamına gelmektedir. Bu durumda üretilen biyogaz miktarı düşmektedir. Katı madde oranının çok düşük olması durumunda ise bu sefer de mikroorganizmalar tarafından

tüketilecek olan madde miktarının az olması sebebiyle yine üretilecek olan biyogaz üretim miktarı düşmektedir.

1.5.9. Karıştırma

Üreteç (reaktör) içerisindeki gaz çıkışı sürecinde gübre ve su karışımının yüzeyinde bir müddet sonra kabuk veya köpük bir tabaka oluşabilmektedir. Bu tabaka gazın yüzeye çıkmasına engel teşkil etmektedir. Bu sebeple gübre ile su karışımından meydana gelen sıvının sürekli veya belli aralıklarla karıştırılması gereklidir. Karıştırma işlemi, oluşan gazın sıvı üzerinde meydana gelen tabakayı veya köpüğü geçip yüzeye çıkmasına katkıda bulunur. Diğer bir taraftan da karışımdaki malzemelerin dibe çökmesini önlemekte ve bakterilerin organik maddelerle homojen bir şekilde temas etmesine olanak tanımaktadır. Bu işlem sonucunda gaz üretiminde artış görülmektedir. Onat ve Topaloğlu karıştırma işlemi ile gaz üretiminin % 10-15 artabileceğini ifade etmişlerdir (Tuluk, 2007).

Buğutekin (2007), biyogaz üretilen birçok atık içerisindeki fiziksel özelliklerden dolayı reaksiyon esnasında diğer atıklarla veya bulamaçla bire bir temas etmesi için karıştırma veya çalkalama yapmak gerektiğini belirtmiştir. Fermantördeki atığın karıştırılmasının veya çalkalamanın birçok avantajları vardır. Bunlar;

- Metanogenisler tarafından üretilen biyogazın çıkışını kolaylaştırma.
- Bakteri popülasyonu ile taze atığın birbirine karışımı sağlanarak reaksiyonu hızlandırma.
- Fermantasyon esnasında atığın üst yüzeyindeki köpük oluşumunu ve atığın içindeki küçük partiküllerin fermantörün (reaktörün) taban kısmına çökmesini engelleme.
- Fermantördeki atığın sıcaklık dağılımını eşitleme.
- Bulamacın içindeki bakteri popülasyon yoğunluklarını düzenleme.
- Fermantördeki ölü alanı, karıştırma yöntemi ile kullanılarak fermantördeki boş alan hacminin fermantasyon üzerindeki olumsuz etkilerinin en aza indirir.

Karıştırma, hidrolik karıştırma sağlayan pompalama sistemleri, gaz enjeksiyonuyla oluşan pnömatik karıştırma sistemleri veya mekanik karıştırma sistemleri ile yapılabilmektedir. Ancak karıştırma düzeneğinden sisteme hava girişinin kesinlikle olmaması gereklidir. Aksi halde metan üretiminde sıkıntılar yaşanabilir.

1.6. Biyogaz Üretiminde Atık Karıştırma

1.6.1. Atık Karıştırma Sistemleri

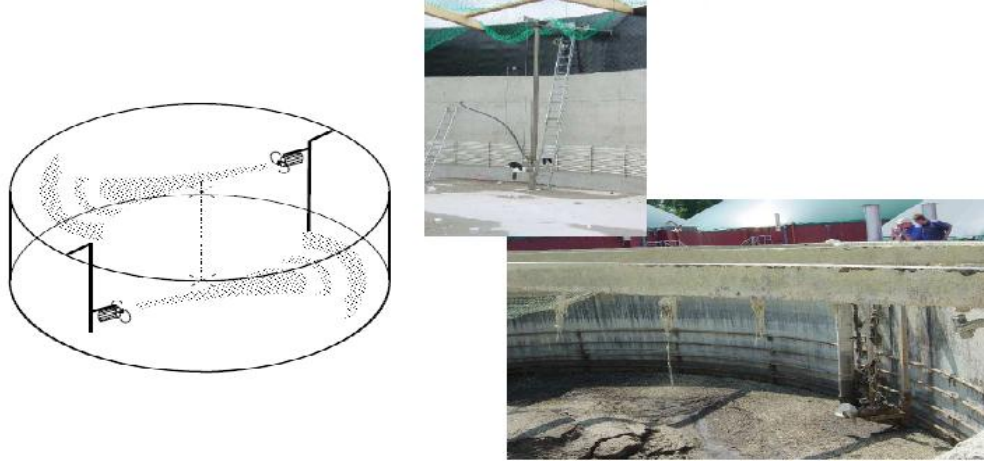
Biyogaz oluşumu esnasında karıştırma işlemi önemlidir. Materyalin yüzey kısmında köpük ve tabaka oluşumunu engellemek, reaktörün tabanına çökmeyi engellemek, karışımın akıcı halde olması, her tarafta eşit sıcaklık dağılımı ve fermantör içerisindeki gübre ile bakterilerin sürekli temasta olmaları sağlanarak metan oluşumu ve oluşan metan baloncukların yüzeye çıkması kolaylaşmaktadır. Fermantasyon etkinliğini artıran bu işlem metan oluşum sürecini bu sayede kısaltmaktadır. Sayılan bu avantajların sağlanabilmesi için şekil 1.18, şekil 1.19, şekil 1.20, şekil 1.21 ve şekil 1.22’de verilen birkaç karıştırma düzeneği görülmektedir.



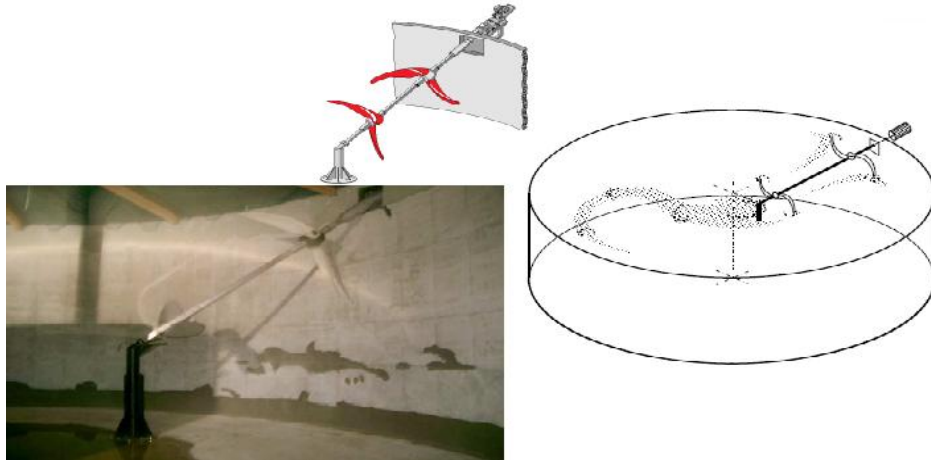
Şekil 1.18. Alt ve üst karıştırmalı çift kanatlı karıştırıcı görüntüleri (Fischer ve Krieg, 2009)

Üreteç içerisindeki materyalin sıcaklık farkından dolayı oluşan karışım şekline pasif karıştırma ismi verilmektedir. Bu sistemlerde herhangi bir mekanik karıştırma düzeneği bulunmamaktadır. Karışma işlemi sıcak olan materyalin özgül ağırlığının fazla, soğuk olan materyalin özgül ağırlığının az olması sebebi ile yer değiştirmeleri sonucu olmaktadır. Mekanik düzeneklerle üreteç içerisindeki materyalin yer değiştirmesi işlemine ise aktif karıştırma ismi verilmektedir. Aktif sistemde mekanik aksam güç kullanılarak çalıştırıldığı için ek bir enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Küçük hacimli üreteçlerde bu güç kaynağı insan olabilirken, büyük hacimli üreteçlerde bu kaynak genellikle elektrik enerjisi kullanılarak

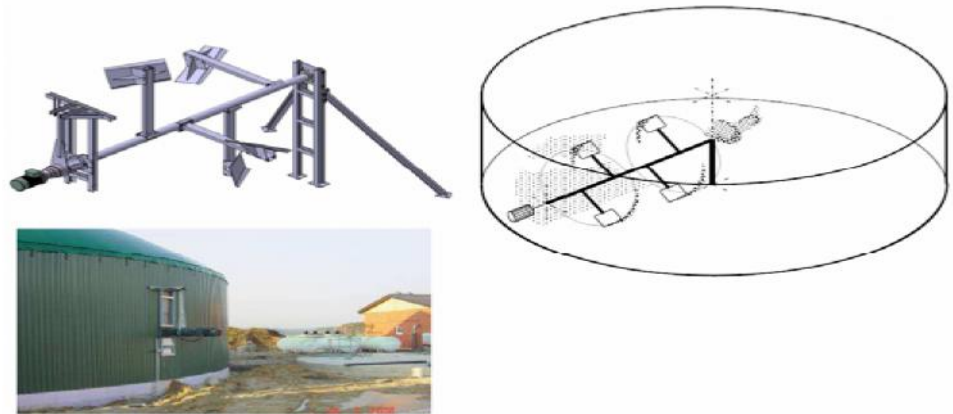
sağlanmaktadır. Bu durumda ise en az enerji ile en çok işi yapabilmek için çeşitli düzenekler kullanılmıştır.



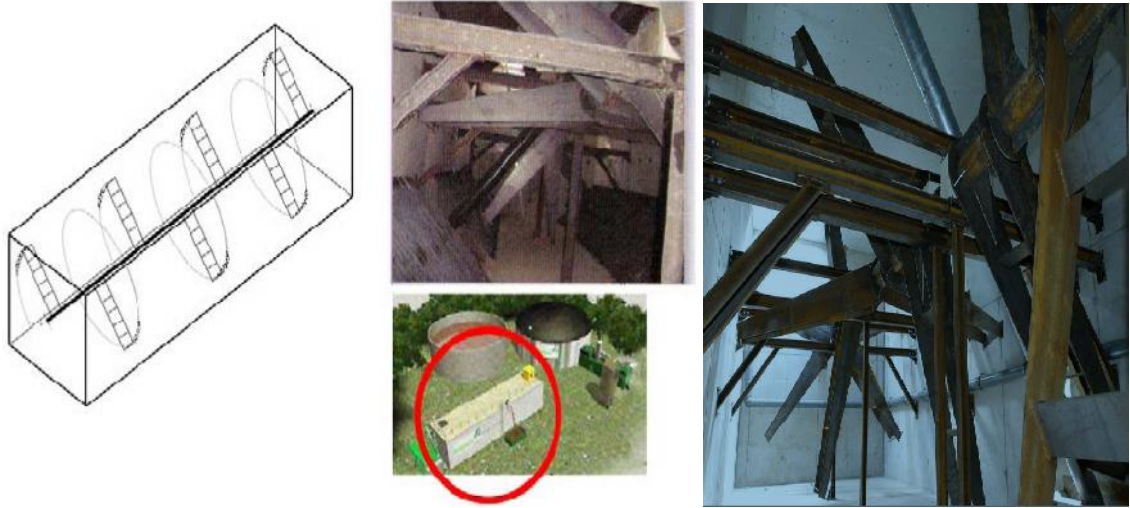
Şekil 1.19. Alt ve üst karıştırırmalı çift karıştırıcı (Fischer ve Krieg, 2009)



Şekil 1.20. Çift pervaneli karıştırıcı ile yandan karıştırma (Fischer ve Krieg, 2009)



Şekil 1.21. Çok kanatlı karıştırıcı ile yatay karıştırma sistemi (Fischer ve Krieg, 2009)

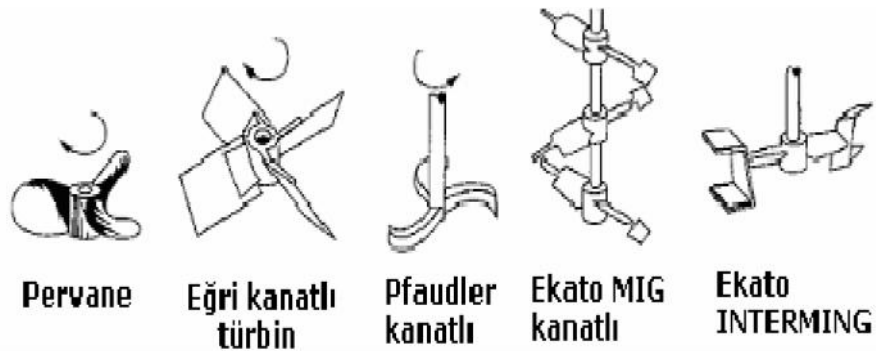


Şekil 1.22.Dikdörtgen fermenterde kanatlı karıştırıcı ile yatay karıştırma sistemi (Fischer ve Krieg, 2009)

1.6.2. Karıştırıcı Kanatları

Dizayn edilecek olan bir üreteçten en yüksek verimi almak için; kullanılacak materyal ve miktarı, ısıtılması, üreteç şekli, üretecin karıştırılma tekniği ve karıştırıcı tipi gibi karıştırma amacıyla kullanılan kanat çeşidi de önemlidir. Bu amaçla karıştırıcı kanat çeşitleri ve şekilleri aşağıda verilmiştir.

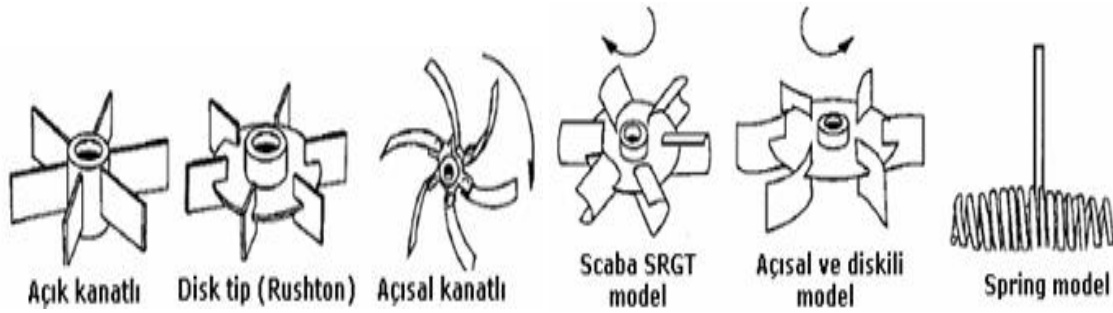
1.6.2.1. Radyal Kanat Çeşitleri



Şekil 1.23. Radyal karıştırıcılar (Buğutekin, 2007).

Bu tür kanat şekli genellikle katıları karıştırmada ve kullanılacak alana göre çeşitli kanat açılarında olabilirler. Şekil 1.23'te radyal kanat şeklindeki karıştırıcı örnekleri görülmektedir.

1.6.2.2. Eksenel Kanat Çeşitleri



Şekil 1.24. Eksenel karıştırıcılar (Buğutekin, 2007).

Eksenel kanat çeşitleri daha çok orta viskoziteli akışkanların, tek veya çok aşamalı karışırmalarında gaz-sıvı, sıvı-sıvı ayrışırmalarında kullanılmaktadır. Şekil 1.24'te eksenel kanat şeklindeki karıştırıcı örnekleri görülmektedir. Buğutekin ve arkadaşları (2008) yapmış oldukları çalışmada şu sonuca ulaşmışlardır. 24 saatlik periyotlarla; biyogazın üretim miktarı, metan gazı yüzdesi, pH değerleri ölçülmüş ve bu değerleri profillerini elde etmişlerdir. Sonuçta *Rushton* karıştırıcılı fermantörün karıştırıcısız fermantörden %30, T profil kanatlı karıştırıcıdan %15.4 daha verimli olduğunu tespit etmişlerdir.

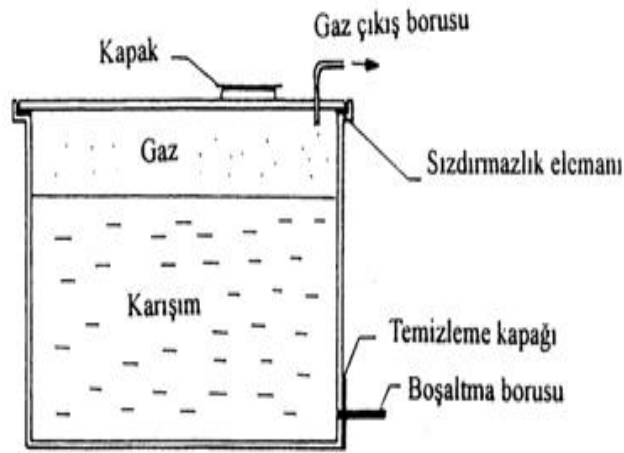
1.7. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Yöntemler

Biyogaz elde edilmesinde, tesis ve üretim teknolojisi karmaşık olan bir sistem gerekmemektedir. Üretim için gerekli olan hammadde, kırsal kesimde hayvancılık ve tarımla uğraşan her ailenin elinde bol miktarda bulunmaktadır. Metan gazı veya biyogaz elde etme işlemini üç ayrı grupta toplamak mümkündür. Bunlardan kesikli fermantasyon (besleme) ve sürekli fermantasyon (besleme) yöntemleri en çok tercih edilen yöntemlerdir.

1.7.1. Kesikli Fermantasyon Yöntemi

Fermantöre (üretim tankı), hayvansal veya bitkisel atıklar belirli oranlarda su ile karıştırılıp hava almayacak şekilde doldurulduktan sonra bu hazne içerisinde yine belirli süre kadar bekletilerek biyogazın oluşmasına imkân tanınmaktadır. Kullanılan organik maddeye ve sistem sıcaklığına bağlı olarak bekleme/bekletme süresi değişmektedir. Bu süre sonunda tesisin fermantörü (üretim tankı) tamamen boşaltılmakta ve yeniden doldurulmaktadır.

Bu yöntemde reaktörü doldurulma işlemi ortalama iki ayda bir yapılır ve gazı alma işlemi bittikten sonra boşaltma işlemi yapılarak tekrar doldurulur. Fermantasyon tankı denilen ve ihtiyaca göre inşa edilmiş olan bir depo, taze çiftlik gübresiyle doldurulur. Şekil 1.25'te örnek bir şekil verilmiştir. Ağız hava almayacak şekilde sıkıca kapatılır. Havasız ortamda belli bir süre bekletilen gübre, bu süre içinde fermantasyona uğrar. Çoğunluğu metan gazı (yaklaşık %60-70) olan biyogaz elde edilir.



Şekil 1.25. Kesikli fermantasyon tankı (Yılmaz, 1996).

Gübre deposunun üst kısmına yerleştirilmiş olan bir boru ile haznenin üst kısmında biriken gaz bir depoya nakledilir veya gazometre denilen gaz depolanma kabına toplanan gaz tüketime hazır halde tutulur. Yaklaşık 2-3 hafta önce doldurulmuş ve biyogaz elde edilmeye başlanmış olan fermantörden yaklaşık 2 ay kadar bir süreyle gaz alınır ve bu süreden sonra gaz verimi giderek düşer. Gübre depoya doldurulduktan 2-3 hafta (10-20 gün) sonra kullanılabilir gaz çıkışı mümkün olmaktadır. Bu nedenle 2-3 hafta önce doldurulmuş ifadesi kullanılmaktadır. Fermantasyon haznesini yaklaşık her iki ayda bir

boşaltıp yeniden gübreyle doldurmak gereklidir. Biyogaz üretimi sürecinde, belirli aralıklarla üretim kesilir ve yeniden biyogaz üretim işlemi için tankın doldurulması işlemi tekrarlanır. Bu sebepten dolayı, ifade edilen biyogaz üretim yöntemine kesikli fermantasyon yöntemi denilmektedir. Küçük aile tipi biyogaz üretim tesisleri için tercih edilen bir yöntem değildir.

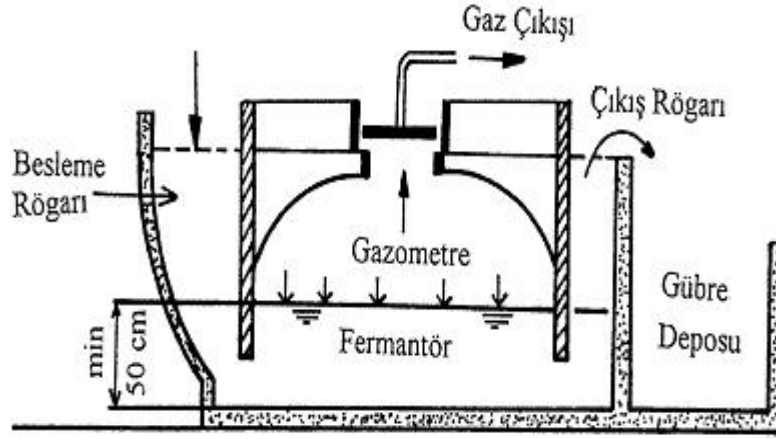
1.7.2. Beslemeli - Kesikli Fermantasyon Yöntemi

Bu sistemde fermantör ilk olarak belirli oranda organik madde ile doldurulmaktadır. Fermantörün geriye kalan boş hacmi de daha sonraki günlerde günlük olarak belirli miktarlarda eklenecek olan gübre miktarı ile tamamlanmaktadır. Günlük olarak eklenecek olan gübre miktarı ise fermantasyon süresine bölünerek tespit edilmektedir. Belirlenmiş olan bu fermantasyon süresinin sonunda dolu haldeki fermantörün içerisi tamamen boşaltılarak yeniden doldurulur. Bu işlemler her fermantasyon süresi sonunda aynı şekilde yeniden tekrarlanır. Bu sebeple bu üretim yöntemine beslemeli-kesikli fermantasyon yöntemi denilmektedir.

1.7.3. Sürekli Fermantasyon Yöntemi

Sürekli besleme yönteminde, atıklar günlük olarak fermantöre gönderilir ve gaz çıkışı günlük olarak gerçekleşir. Özellikle küçük oranda hayvancılık yapan çiftçiler için ideal bir yöntemdir.

Bu fermantasyon yönteminde fermantörden gaz çıkışı başladıktan sonra günlük olarak sisteme besleme yapılır. Besleme yapılan karışım kadar gazı alınmış gübre sistemden dışarıya boşalır. Fermantöre her gün belirli miktarlarda organik madde verilerek alıkoyma süresi kadar bekletilmekte ve aynı oranlarda fermente olmuş materyal günlük olarak fermantörden alınmaktadır. Böylece günlük beslemelerle sürekli olarak biyogaz üretimi sağlanmaktadır. Bu süreklilik olayından dolayı bu yönteme sürekli fermantasyon yöntemi adı verilmiştir. Sürekli fermantasyon yöntemi için kullanılan biyogaz üreteci (reaktörü) şekil 1.26'da gösterilmektedir.



Şekil 1.26. Biyogaz üreticinin kısımları (Yılmaz, 1996)

1.7.4. Biyogaz Üreteci ve Kısımları

Biyogaz üreteci (reaktörü), fermantasyon işleminin gerçekleştiği fermantör ve şekil 1.26'da görülen diğer kısımlardan oluşmaktadır.

1.7.4.1. Fermantör

Fermantör veya üreteç diye ifade edilen kısım, atıkların doldurularak gaz üretiminin gerçekleştiği ve aynı zamanda gazın depolama için kullanıldığı kısımdır. Fermantasyon tankı (üreteç) malzemeleri, beton, tuğla, sac, çelik, polyester, fiberplas, krom-nikel vb. olabilmektedir. Şekil itibarı ile silindir, dikdörtgen, küp, yumurta (elips) biçimlerinde olabilir. Ancak hidrolik koşullara uygunluk açısından en iyi sonuçları veren yumurta biçimli tankın üretim masraflarından dolayı pratikte uygulamada sınırlı kalmaktadır. Üreteç hangi malzemeden yapılırsa yapılsın gaz ve sıvı sızdırmayacak yapıda olmalıdır. Ayrıca üreteçler; sıcaklık değişimlerine karşı yalıtımlı, korozyona karşı dayanıklı, bakım ve onarımları kolay, statik yüklere karşı dayanıklı, emniyetli ve gerektiğinde tamamen boşaltılabilir olmalıdır.

1.7.4.2. Besleme Rögari

Besleme rögari veya hammadde giriş borulu olan tiplerde atığın depolanıp uygun miktarda suyla karıştırılarak fermentöre verildiği kısımdır. Oluşacak ısı kayıplarını en aza indirmek için ahır içerisine veya en yakın mesafede yapılmalıdır. Üreteçten gaz kaçaklarını önlemek için sürekli, olarak atık yüzeyinden aşağıda ve tabandan en az 50 cm yukarıda olmalıdır (Yılmaz, 1996). Boru çapı tesis büyüklüğüne göre değişse de genellikle 300 mm alınır (Buğutekin, 2007). Öztürk (2005) giriş boru çapını, sıvı besi maddesi için 10-15 cm, lifli substratlar için 20-30 cm civarında olması gerektiğini ve borunun plastik veya betondan dik açıyla çürütücü içine düz bir şekilde bağlantı noktalarından hava almayacak biçimde kuvvetlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca giriş borusunun çıkış borusundan daha yüksek bir seviyede olması gerektiğini ve sebebinin ise substrat akımının daha uniform ilerlemesini sağlamak olduğunu ifade etmiştir.

1.7.4.3. Çıkış Rögari

Çıkış rögari veya borusu, fermente olmuş gübrenin üreteçten dışarıya alındığı bölümdür. Fermente olmamış gübrenin dışarı atılmasını engellemek için tabandan yaklaşık yarım metre yukarıda olması uygundur. Çıkış borusu giriş borusundan daha aşağıda inşa edilmelidir. Bu şekilde fermente olan gübre kendiliğinden dışarı atılabilir.

1.7.4.4. Kapak ve Gaz Borusu

Kapak, gerektiğinde fermentörün bakımının ve temizliğinin yapılması için kullanılır. Aynı zamanda Şekil 1.26'da gösterilen ve çeşitli üreteç tipleri için basınç ayarlaması görevi yapmaktadır. Gaz borusu ise üreteçte üretilen gazın alındığı borudur.

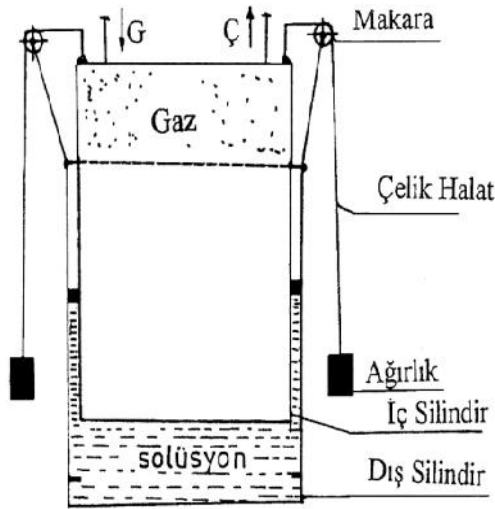
1.7.4.5. Gübre Deposu

Fermantörden çıkan gübrenin depolandığı bölümdür. Gübre bu kısımdan alınarak tarlalarda kullanılmaktadır. Özellikle kış aylarında gübre kullanılmayacağı veya sevk edilemeyeceği için depolama kapasitesi yeterli düzeyde olmalıdır. Gübre kullanılmadığı zaman bünyesindeki suyun emdirilmesi için foseptik tarzda yapılabilir.

1.7.4.6. Gazometre

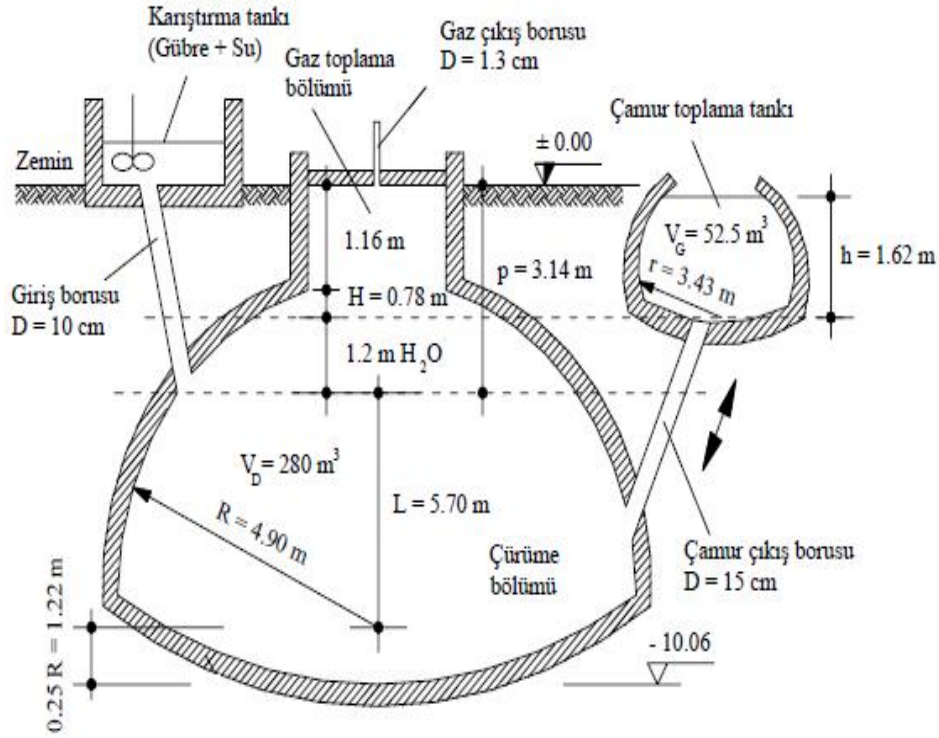
Üretecın üst kısmında bırakılan boşluktur. Gazı depolama amacıyla kullanılır. Gazometre üreteçle birlikte olabileceği gibi üreteçten ayrı da yapılabilir.

Sızdırmaz şekilde çelik, krom veya plastik malzemeden yüzer kapaklı ve değişik kapasitelerde imal edilebilirler. Şekil 1.27’de yüzer tip bir gazometre örneği görülmektedir. Gaz saflaştırılırken kullanılan kimyasal maddelere karşı dayanıklı olması için gazometre belirli malzemelerden imal edilmelidir.



Şekil 1.27. Yüzer tip gazometre (Yılmaz, 1996)

Tüm bunlara ek olarak, fermantasyon işleminin devam edebilmesi için üretece ısıtma, karıştırma düzenekleri yerleştirilmektedir. Bu düzenekler üreteç içinde veya dışında olabilirler. Ayrıca doldurma ve boşaltma için de ayrıca düzenekler kurulabilir.



Şekil 1.28. Sabit kubbeli reaktör dizaynı (Entürk vd., 2006).

Çorum ili'nde Entürk ve arkadaşları (2006) tarafından örnek bir pilot tesis olarak seçilen bir tavuk üretim çiftliği için gübre atıklarının arıtılmasında beton malzemeli küçük ölçekli bir biyogaz sisteminin uygunluğu araştırılmıştır. Gübre atıklarının bertarafı için sabit kubbeli Çin tipi biyogaz reaktörü uygun bir çürütme prosesi olarak önerilmiş ve tasarım kriterleri ve literatür verileri esas alınarak yapılan çalışma şekil 1.28'de verilmiştir.

1.8. Biyogaz Üreteç Çeşitleri

Biyogaz üreteçlerini (fermantörlerini) iki grupta toplamak mümkündür.

1. Küçük hacimli üreteçler
2. Büyük hacimli üreteçler

Küçük hacimli üreteçler genellikle beslediği hayvan sayısı az olan yetiştiriciler tarafından kullanılmaktadır. Düşük işletim maliyeti sebebi ile tercih edilen bir sistemdir. Büyük hacimli üreteçler ise çok sayıda hayvana sahip yetiştiriciler tarafından inşa edilip kullanılmaktadır. Her iki üreteç tipi de hava sızdırmaz bir yapıya sahip olmalıdır. Aksi halde biyogaz üretimi ve birikimi mümkün olmaz. Biyogazın oluşumu için her iki sistem

içindeki ortam sıcaklığının kontrol altında tutulması gereklidir. Aksi halde biyogaz üretiminde kesintiler ve sıkıntılar oluşur.

1.8.1. Küçük Hacimli Üreteçler

Yetiştiriciler tarafından en fazla tercih edilen bu üreteç çeşidini aşağıda sayılan başlıklar altında toplamak mümkündür:

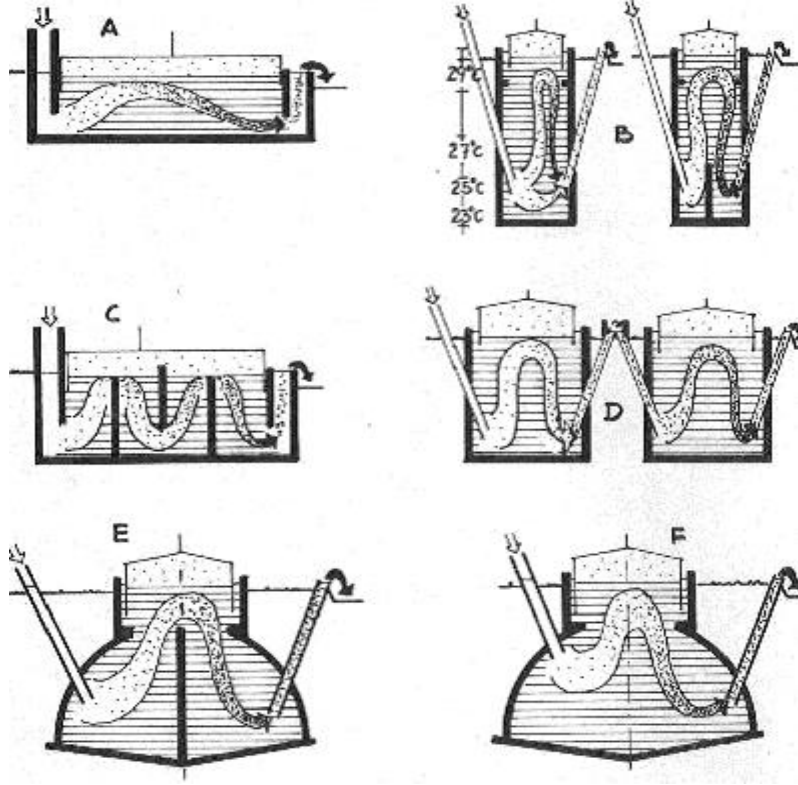
1. Hareketli Kubbe Tipi
2. Sabit Çatılı Çin Tipi
3. Yüzer Çatılı Hindistan Tipi
4. Torbalı Tip
5. Balonlu Tip

Anaerobik üretece konulacak olan biyogaz üretim kaynağı öncelikle belli oranda su ile karıştırılır. Bu şekilde seyreltme işlemine tabi tutulan biyogaz üretim kaynağının üretecin içerisine doldurulması gereklidir. Fermantasyon sonucu gaz çıkışı başladıktan sonra çıkan gaz haznede toplanır. Gazların toplandığı bölümde gaz basıncı yükselir. Su ile günlük olarak seyreltilen taze gübre günlük olarak üretece yüklenir. Besleme borusunda bekleme süresi esnasında organik maddeler fermente olabilir. Fermente olmuş organik maddeler çıkış borusu arasından gaz basıncı ile çamur tankına itilir. Şekil 1.29'da karışımın üreteç içerisindeki hareket tarzı görülmektedir.

Öztürk (2005) küçük hacimli üreteçler için aşağıdaki şu ifadelerde bulunmuştur. Küçük hacimli reaktörler;

- Hayvan gübresinin kolay taşınacağı,
- Seyreltme suyuna yakın,
- İçme suyu kaynağından 15-20 metre uzak,
- Bina temelinden en az 2-3 metre uzak,

yerlere kurulmalıdır.



Şekil 1.29. Reaktörlerde besi maddesi hareketi (Öztürk, 2005).

Sabit çatılı ve yüzebilir çatılı reaktörlerde çürümüş çamurun çıkış borusu tabandan itibaren 30-40 cm yukardan olmalıdır. Yüzebilir çatılı reaktörlerde çürümüş çamur çıkışı reaktör duvarından en az 8 cm aşağıda olmalıdır. Aksi durumda reaktör etrafından çamur sızıntısı olur.

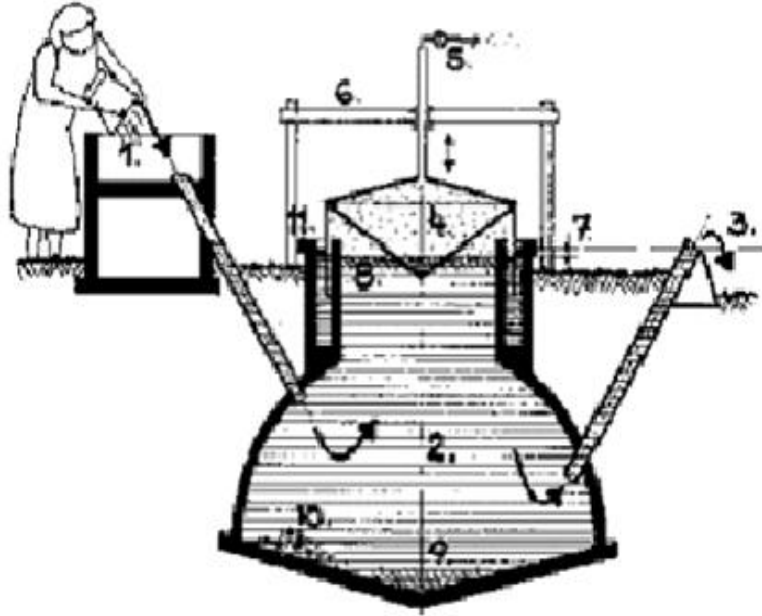
Küçük hacimli reaktörlerde besi maddesi içindeki kum, tas gibi maddelerin reaktöre girişini önlemek için besleme girişi, karıştırma bölümü tabanından 3-4 cm yukarıda olmalıdır.

Silindirik besleme tankları hem ucuz hem de daha iyi karıştırma yapmak mümkündür. Besleme tankı üzeri sabah şeffaf plastik malzeme ile örtülerek güneş ışığı ile ısınması sağlanır ve akşam üzeri kapatılarak soğuması engellenmiş olur.

1.8.1.1. Hareketli Kubbe Tipi

Bu tür reaktörler çürüme bölümü ile gaz depolama bölümünden oluşmaktadır. Şekil 1.30'da hareketli kubbe tipi üretece ait bir tasarım görülmektedir. Gaz toplama bölümü normalde metaldir ve su içinde hareket halindedir. Gaz oluşukça gaz toplama bölümü

yukarı doğru hareket eder. Gaz tüketildikçe bölüm aşağı doğru iner. Gaz toplama bölümü siyah veya kırmızıya boyanırsa gaz üretimi fazla olabilir. Çünkü güneş ışığının absorblanması ile gaz üretimi artar. Çatı malzemesi genellikle 2 veya 2.5 mm et kalınlığında çelik olabilir. Çatı malzemesi olarak son zamanlarda cam elyafı fiberle güçlendirilmiş plastik veya yüksek yoğunluklu polietilen de kullanılmaktadır. Maliyeti çeliğe göre biraz pahalıdır. Gaz toplama bölümünü PVC'den yapmak sağlıklı değildir. Çünkü PVC zamanla bozunmaktadır. Gaz toplama bölümü balon tipinde de yapılabilir. Böylece inşaat maliyeti düşürülebilir. Reaktör briket, tas veya betondan yapılmış gaz sızdırmaz odadan ibarettir. Reaktörler, silindirik, küresel ve elips şekilde inşa edilmektedir. Bu tür reaktörler kolayca inşa edilebilmektedir (Öztürk, 2005).



Şekil 1.30. Hareketli kubbe tipi reaktör (Öztürk, 2005).

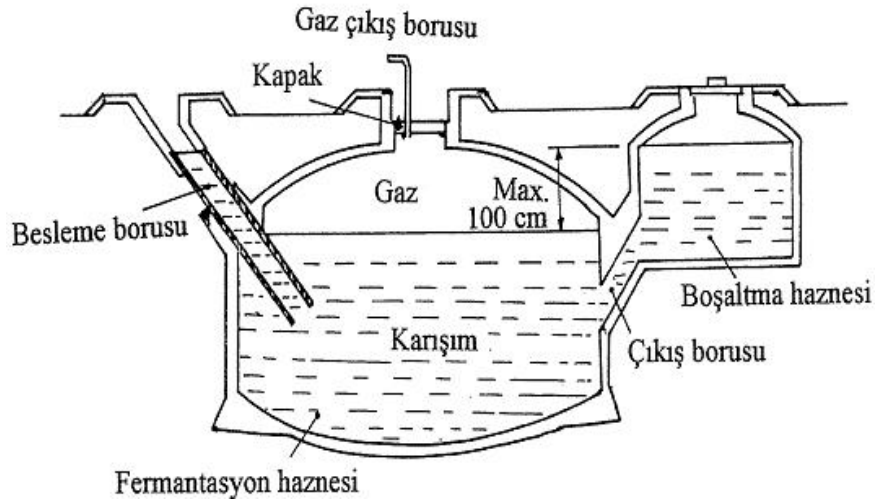
- | | |
|--------------------------------------|---------------------------|
| 1. Çamur karıştırma ve çamur girişi, | 7. Gaz basıncındaki fark, |
| 2. Reaktör, | 8. Yüzebilir atıklar, |
| 3. Çürümüş çamur çıkışı, | 9. Çamur birikintisi, |
| 4. Gaz depolama bölümü, | 10. Taş, kum birikintisi, |
| 5. Vanalı gaz çıkış borusu, | 11. Yağ filmli su ceket |
| 6. Gaz hücresi destek yapısı, | |

Biyogazı sabit basınçta depolamak mümkündür ve hareketli kubbenin ağırlığı ile ayarlanabilmektedir. Su ceketleri, yüzeye kadar su ile dolu olduğu için ya da buharlaşma ile eksilmemesi için kullanılmış yağ gibi maliyeti düşük olan sıvılar ile doldurulabildiği için hareketli kubbe içerisinde aşağı yukarı kolayca hareket edebilir. Bu nedenle gaz

sızdırmazlık problemi olmaz. Kolayca temizlenebilmesi için su ceketinin içinin yeterli ölçüde geniş olması gereklidir.

1.8.1.2. Sabit Çatılı Çin Tipi

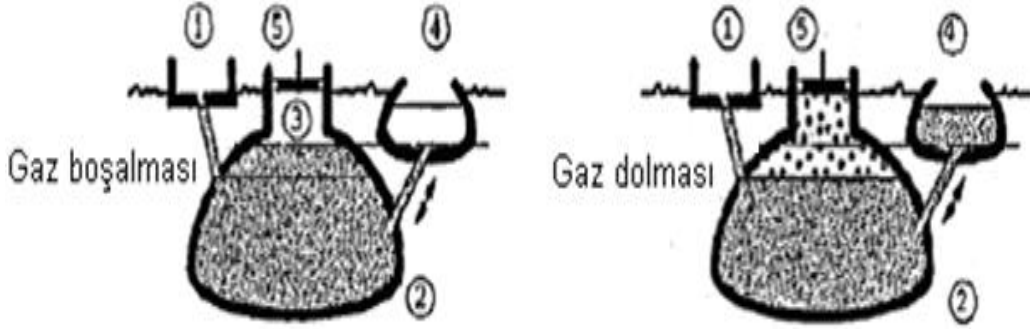
Şekil 1.31’de görülmekte olan eğik tabanlı sabit çatılı Çin tipi üreteç briket, taş veya betondan inşa edilebilir ve hava sızdırmayan bir hazneden oluşan yapıdır. Çeşitli şekillerde (dikdörtgen, silindirik, küresel ve elips) inşa edilebilirler. Reaktörlerin tepesi, kubbe seklindedir. Çatı (kubbe) altında gazın birikmesi için yükselen basınçla gazın birikmesi sağlanacak şekilde düzenlenir. Çatı hava sızdırmaz olmalıdır. Bu işlemde gaz sızıntısı önemli bir problemdir. Haznenin üst kısmı sızdırmaz yapıda bir gaz deposudur (Öztürk, 2005). Çin’de yaygın olarak kullanılan bir üreteç tipidir.



Şekil 1.31. Sabit çatılı Çin tipi reaktör (Yılmaz, 1996).

Sıvı gübre giriş borusunun iç çapı 10 cm, çıkış borusunun iç çapı ise 15 cm olmalıdır. Çıkış borusu daima girişi borusundan daha geniş olmalıdır. Sıkıştırma tankının taban seviyesi çürüme tankının dolu haldeki seviyesinde olmalıdır. Sıkıştırma tankı hacmi gaz depolama hacmine eşit olmalıdır. Çürüme tankının dolu olduğu seviye ile biyogazın deşarj kısmı arasındaki mesafe yaklaşık olarak 25 cm olmalıdır. Dolayısıyla sıkıştırma tankı yüksekliği doğru olarak seçilmelidir. Gaz üretim hızı, 25 °C sıcaklıkta 60 gün hidrolik bekleme süresinde günde birim hacim reaktörden 0.1-0.2 hacim biyogaz üretilir. Reaktörde

gaz basıncı 120 cmH₂O eşit veya altındadır. Burada anahtar nokta reaktör çapının silindirin yüksekliğine oranı 2:1 olmalıdır. Bu oldukça yüksek yapı malzemesi gerektirir. Bu yüzden reaktörün tabanının ve tepesinin yarı silindirik olması bu yüzdendir (Öztürk, 2005).



Şekil 1.32. Sabit çatılı Çin tipi reaktörde gaz dolması ve boşalması (Öztürk, 2005)

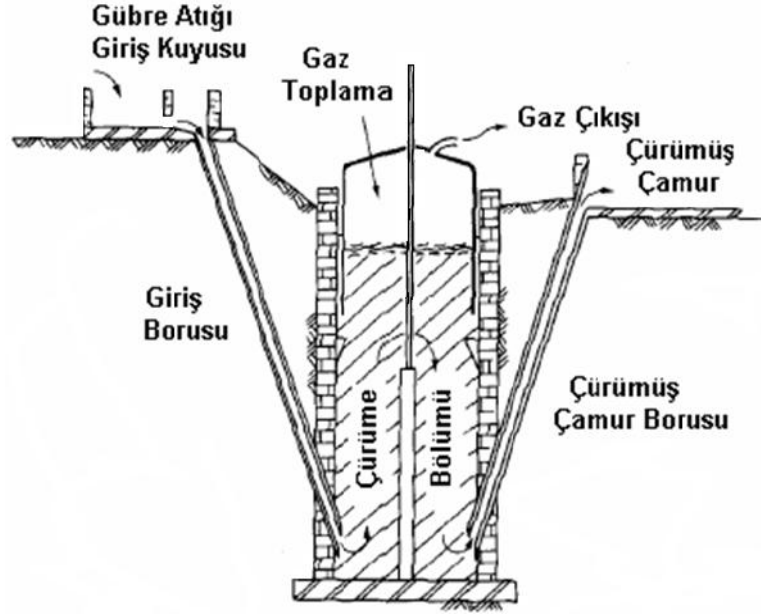
(1.Karıştırma havuzu, 2. Reaktör, 3. Gaz toplama bölümü,4.Yer değiştirme havuzu, 5. Gaz borusu)

Şekil 1.32’de görülen Öztürk (2005) tarafından belirtildiği gibi oluşan biyogaz reaktörün üst kısmında birikir. Gaz birikmeye başladıkça tanktaki çamurla yer değiştirir. Gaz basıncı iki çamur tankında seviyedeki artışla orantılı olarak biyogaz miktarı artar. Çin’de 5 milyon adet 6, 8, 10 m³’ lük bu model reaktörden bulunmaktadır. Şekil 1.33’de Çin tipi bir biyogaz tesisinin inşası görülmektedir. En küçük boyutlu olan 5 m³’ dür. 200 m³ kapasiteli tesisler yapılabilir. Bu tür reaktörler yarı sürekli olarak beslenir. Günde bir defa besleme yeterlidir. Sığır veya domuz gübreleri için hidrolik bekleme süresi 35-40 gündür. Toplam katı madde konsantrasyonu %5-8 veya %7’dir.



Şekil 1.33. Biyogaz üreteç inşasından görüntüler (URL-2, 2010).

1.8.1.3. Yüzer Çatılı Hindistan Tipi



Şekil 1.34. Yüzer çatılı Hindistan tipi reaktör (Öztürk, 2005).

Hava şartlarından en az etkilenmesi için toprak altına inşa edilen bu üreteçler, çürüme ve gaz toplama bölümü olmak üzere iki kısımdan meydana gelmektedir. Şekil 1.34’de bu üreteç tipine ait tasarım görülmektedir. Diğer üreteç türleri gibi briket veya betondan yapılabilirler. Üreteç içerisinde giren ve çıkan karışımı ayıran bir duvar bölmesi mevcuttur. Öztürk (2005), besleme atığının yapısına bağlı olarak derinliğin 3.5 ile 6 metre, çapının ise 1.3 ile 6 metre arasında değiştiğini, çoğu reaktörlerde gaz üretim kapasitesinin 6 ile 8 m³ /gün ve gaz üretim hızının ise 0.32-0.34 m³ /gün reaktör olarak değiştiğini belirtmiştir.

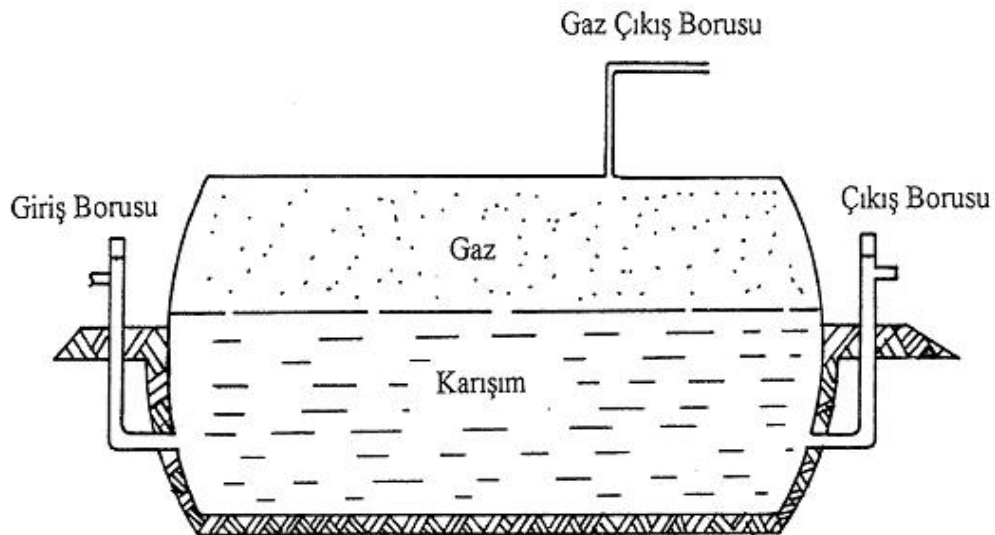
Gaz toplama bölümünün malzemesi genelde yumuşak demirdir. Korozyon probleminden dolayı bu bölümde son zamanlarda polietilen ve fiberglas malzemelerden imal edilmektedir. Gaz toplama bölümünün hacmi, reaktörde günlük olarak oluşacak gaz miktarının en az %50’sini depolayacak kapasitede olmalıdır. Reaktörde günlük olarak oluşan gaz, gaz toplama bölümünde toplanır. Gaz basıncı, çatı ağırlığı ile eşdeğer olmalıdır. Çatılar korozyona dayanıklı demir destekli fiberglas veya plastik destekli ham demirden yapılabilir. Gaz toplayıcı ağırlığı toplama alanında 90 kg/m² basınç verecek şekilde tasarlanmalıdır. Gaz depolama bölümü basıncı 4-8 cm H₂O arasında değişir. Bu basınç, gazın ev aletlerinde kullanılabilmesi için yeterlidir.

Bu tür reaktörlerde hidrolik bekleme süresi bölgenin meteorolojik şartlarına ve reaktörün yalıtılmasına bağlı olarak 30- 50 gün arasında değişir. Sıcak iklim bölgelerinde bu süre kısalabilir (Öztürk, 2005).

Sulandırılmış gübrenin reaktöre giriş kısmı çıkış kısmından yüksek olmalıdır. Çürütülmüş çamur üzerine hidrostatik basınç oluşumu bu şekilde sağlanmış olur. Reaktör iki bölmeye ayrıldığından taze gübrenin sindirilmiş gübrenin ile kısa devre yapması önlenmiş olur. Reaktör ortamında akışkanlık sağlanır. Çürümüş çamur yükselerek diğer bölüme geçer. Öztürk (2005) Hindistan'da bu modelin benzeri 80.000 adet kurulu durumda olduğunu ifade etmektedir.

1.8.1.4. Torbalı Tip

Torbalı üreteçler uygun bir altlık içerisine yerleştirilmiş, uzun, silindirik ve basınca dayanıklı torbadan oluşmaktadır (şekil 1.35). Biyogaz oluşum ortamını sağlayabilmek için üreteç iyice sıkıştırılarak içindeki hava boşaltılır. Gaz üretimi oldukça torbanın esneklik özelliğinden dolayı şişerek gaz üzerine basınç yapar ve gaz kullanıldıkça torba eski haline geri döner. Aynı zamanda ince torba kalınlığı ve güneş ışığına direkt maruz kaldığı için kolaylıkla ısınır. Bu durum bekleme süresini kısaltır ve gaz üretimini artırabilir.



Şekil 1.35. Torba tipi (Tayvan-Çin) reaktör (Yılmaz, 1996).

Bu tür reaktörler için Öztürk (2005) şunları belirtmiştir. PVC veya kuvvetli naylon kumaş kaplı neoprenden yapılmış (uzunluk/çap oranı 3:14) olan silindirlerdir. Bu tür reaktörler oldukça hafiftir. 50 m³ membran reaktörlerin ağırlığı 270 kg'dır Hayvan ahırına yakın yere kolayca inşa edilebilir ve yere belli derinlikte inşa edilmesi gereklidir. Besleme girişi, reaktörde yaklaşık 40 cm. H₂O basıncını muhafaza edecek şekilde düzenlenir. Bu tür reaktörler, biyogazın ayrı olarak depolandığı, piston akımlı bir reaktör (karıştırmasız) gibi hareket eder. Ekonomik, dayanıklı ve kolay inşa edilebilir özelliğinden dolayı Çin'de bu reaktörler hızlı şekilde gelişmeye başladı. Kore, Tayvan ve Fiji'de yaygın olarak kullanılan reaktör tiplerinden biridir. Şekil 1.36'da torbalı tip üreticinin yapım görüntüleri verilmiştir.



Şekil 1.36. Torbalı tip üreteç görüntüleri (URL-4, 2010)

Domuz atıkları için bu tür reaktörlerde bekleme süresi sıcak iklim bölgelerinde 20 gün (30 ile 35 °C). Soğuk iklim bölgelerinde (15-20 °C) 60 gündür. Reaktör duvarı ince olduğundan havaya doğru olan açık kısmı, güneş ışığı ile kolayca ısınabilir. Böylece bekleme süresi kısaltılabilir. Dolayısıyla gaz üretimi %50-300 artırılabilir (0.24-0.6 gaz hacmi/reaktör hacmi/gün).

1.8.1.5. Balon Tipi

Balon tipi reaktörler plastik veya lastik karışımı malzemelerden yapılmaktadır. Gaz reaktörün üst kısmında depolanır. Giriş ve çıkış balonunun yüzeyine direk bağlıdır. Gaz balon yüzeyinde biriktiği zaman yerleşmeye baslar ve gaz basıncı artar. Reaktörde gaz dolduğu zaman tesis sabit çatılı reaktör gibi çalışır. Balon şişirilmemelidir. Çok elastik değildir. Gaz depolama bölümünde yeterli basınç ağırlık esasına göre sağlanır. Reaktörde aşırı basınç oluşumu önlenmelidir. Aksi durumda bu olay reaktör malzemesine zarar

(1. Karıştırma haznesi, 2.Reaktör, 3. Gaz Depolayıcı, 4. Çamur Depolama, 5.Gaz Borusu, 6. Ağır Yük, 11. Doldurma Borusu 51. Su Tutucu, 41. Çıkış Borusu,61. Destek Çerçeve)

Büyük kapasiteli organik atıkların arıtılmasında genel olarak dört tür reaktör kullanılmaktadır. Bunlar:

- 64

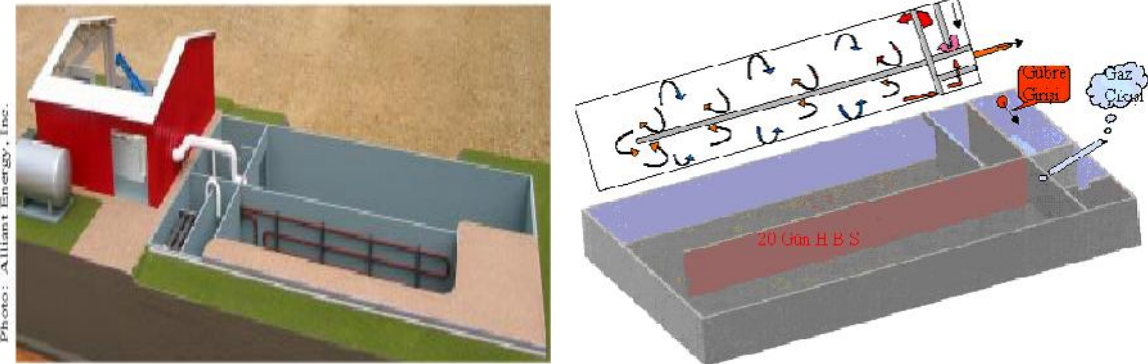
1.8.2.1. Tam Karışımli Reaktörler



Şekil 1.38. Tam karışımli anaerobik arıtma tesislerinden görüntüler (Pehlivan, 2009)

Tam karışımli reaktörlerin hacmi 100- 2000 m³ arasında değişebilmektedir. Tam karışımli reaktörlerden elde edilen biyogaz genellikle elektrik enerjisi üretilmekte kullanılır. 2.831.684 litre biyogaz ve 135 kW enerji üretim kapasiteli tam karışımli reaktör görüntüleri şekil 1.38’de verilmiştir. Anaerobik şartları muhafaza etmek için reaktör üzeri sabit olarak kapatılır. Reaktörler geniş, dikey ve sadece betonarme veya çelik silindirlerden yapılmış konteyner şeklinde olabilirler. Reaktör tavanı düz veya konik olabilir. Öztürk’ün (2005) ifadesine göre bu reaktörlerde yeterli uçucu organik katı madde konsantrasyonu %3-10 arasında değişen atıklar kullanılır. Reaktöre bir karıştırıcı konarak bakterilerin besi maddeleri ile homojen şekilde karışması sağlanır. Çamur, karıştırma havuzunda toplanır. Burada gerekirse seyretme yapılır. Çamur reaktöre verilmeden önce gübre içindeki yabancı ve istenmeyen maddelerin çökmesi sağlanır ve ısıtılır. Çamur reaktöre ya bir pompa veya cazibe ile akacak şekilde verilir. Hidrolik bekleme süresi 10 ile 20 gün arasında değişebilir.

1.8.2.2. Piston Akımlı Reaktörler



Şekil 1.39. Piston akımlı reaktörler (Öztürk, 2005).

Yatay veya dikey şekilde olabilen piston akımlı reaktörler, anaerobik çürümenin en basit şekli ve en ucuz olanıdır. Şekil 1.39’da görüldüğü gibi çoğunlukla yatay, dikdörtgen modeller kullanılmaktadır. Bu reaktörlerde uzunluk, genişlik ve derinlikten daha büyük olmalıdır. Reaktör uzunluğunun genişliğe oranı 3.5:1 ila 5:1 arasında değişir. Derinlik ise en az 2.5 metre olmalıdır. Genişliğin derinliğe oranı ise 2.5:1den küçük olmalıdır. Taban ve duvarlar beton veya geçirimsiz membran olabilir. Özellikle zemin düz olmalıdır. Reaktör yüzeyi, duvarları ve tabanı ısı kaybını minimize etmek için yalıtılmalıdır. Şekil 1.40’da piston akımlı reaktörden görüntüler verilmektedir. Atık su reaktörün bir tarafından girer ve çürüme işleminden sonra diğer taraftan çıkar. Bu tür reaktörlerde katı madde konsantrasyonu %11-14 arasında değişmektedir (Öztürk, 2005).

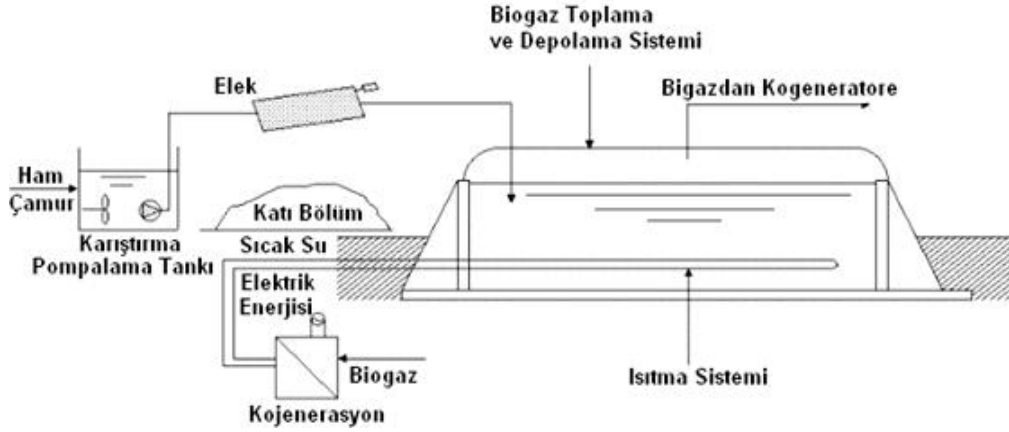


Şekil 1.40. Piston akımlı reaktörden görüntüler (URL-5, 2010)

Yüksek konsantrasyonda katı madde ile çalışılabileceği için geviş getiren hayvan gübresi arıtılabilir. Domuz ve mandıra atıklarını arıtmak için uygun değildir. Piston akımlı reaktörler genellikle mezofilik şartlarda çalıştırılır. Hidrolik bekleme süreleri genelde 20 gündür. Katı madde bekleme süresi ise 25-30 gündür. Piston akımlı reaktörlerde kum ve kil gibi maddeler reaktör tabanına çökelebileceğinden önceden giderilmelidir. Fiberler ise reaktör yüzeyinde yüzebilir. Reaktörde oluşan katı maddeler zaman zaman alınmalıdır. Temizleme işlemi kolay bir işlem değildir. Bu tür reaktörler, reaktör içinden geçen sıcak su boruları siyah demir, çelik, bakır veya alüminyumdan yapılmış ısı değiştiricilerle ısıtılır. Isı değiştirici olarak galvaniz boru kullanılmamalıdır. Böylece yıl boyunca sabit sıcaklık elde edilebilir. Temizleme işlemi esnasında ısıtıcılarında temizlenmesi ve tamir edilmesi gereklidir (Öztürk, 2005).

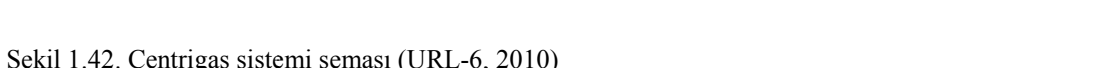
1.8.2.3. Lagun Tipi Reaktörler

Anaerobik lagunlar bir bakıma üstü örtülü havuzlardır. Anaerobik havuza bir uçtan giren gübre çürüme işlemi sonucunda diğer uçtan çıkar. Lagunlar toprak sıcaklığına yakın sıcaklık şartlarında çalıştırılır. Lagun tipi reaktörlerde ısıtma işlemi olmayınca HBS 60 günü aşmaktadır. Düşük sıcaklıklardaki çalışma şartlarından dolayı maddelerden elde edilen biyogazda az olmaktadır. Aynı zamanda reaksiyonun gerçekleşme hızı mevsimsel sıcaklık değişiminden etkilendiği için yazın elde edilen biyogaz değeri daha yüksektir. Yaz aylarında kış aylarına göre %35 daha fazla biyogaz elde edilmektedir. Bu tür reaktörlerde katı madde konsantrasyonu %2'dir. Lagun tipi reaktörlerde katı madde konsantrasyonu düşük atık sularla çalışıldığı için domuz gübresi ile mandıra atık sularının bu tür sistemlerle arıtılması daha olumlu sonuçlar vermektedir. Hayvan gübresi bu tür tesislerde arıtılacaksa katı maddeler önceden arıtılmalıdır. Bu durum enerji potansiyelini önemli ölçüde azaltır (Şekil 1.41). Temizleme zorluklarından dolayı çamur içindeki kum ve kil gibi dibe çökebilen maddeler öncelikle süzülmalıdır. Böylece lagun içinde katı madde birikmesi daha az olur.



Şekil 1.41. Lagun tipi reaktör (Öztürk, 2005)

Lagunlar, dairesel, kare, dikdörtgen ve başka şekillerde olabilirler. Dikdörtgen lagunlarda atıkların düzgün şekilde dağılması için uzunluk /genişlik oranı 4:1'i aşmamalıdır. Lagunlarda anaerobik şartların sağlanması için reaktör derinliği en az 2 metre olmalıdır. Maksimum derinlik ise toprak özelliğine ve yer altı su seviyesine bağlı olarak 6 metre olabilir. Böylece daha az yüzey alanı gerekir. Bazı ülkelerde lagun duvarları kısmen poliüretan köpük (5 cm et kalınlığında) ve kısmen toprak seti ile yalıtılmaktadır.



Centrinogen sistemi dahil 1.42'de sınırlanmıştır. Bu sistem su kaynaklarından

1.Ayarlanabilen madde girişi 8.Fermantasyon tankı

- | | |
|---|--------------------------|
| 14.İç izolasyon | 20.Elektrik çıkışı |
| 15.Vantilatör | 21.Isı enerjisi dağılımı |
| 16.Fırtına ve UV ışınlarına dayanıklı çatı | 22.Gübre çıkışı |
| 17.Merkezi kontrol ünitesi | 23.Drenaj |
| 18.Basınçsız meşale | 24.Dış izolasyon |
| 19.Entegre ısı ve güç istasyonu (jeneratör) | |

Sistemde bitkiler öncelikle ön asitlendirme işlemine tabi tutulur. Kuru madde oranı ayarlanan karışım sisteme verilir. Asitlendirme işlemi yapılan bu karışım yüksek oranda metan içerir. Bu oran %70 veya daha yüksek olabilir. Fermantasyon sıcaklığı yaklaşık 35°C'dir. Yüksek metan içeriği sayesinde bir motor rahatlıkla çalıştırılabilir. Şekil 1.42'de sistemin şeması ve şekil 1.43'de sistemin bir görüntüsü verilmiştir. Sistemin üzeri membran örtü ile kapalıdır. Centrigas işlemi süresince nitrat ve fosfat gibi önemli ürünler süreç boyunca korunur. Ön asitleştirme, metan ve diğer aşamalar bu sistemde daha özel şekilde kontrol edilebilir. Sistem içerisinde dolaşımlar reaktörde herhangi bir mekaniki parça olmadan gerçekleşmektedir. Bu nedenle bakım masrafları olmaz ve oldukça verimlidir.



Şekil 1.43. Centrigas sisteminden görüntüler (URL-7, 2010)

1.8.3. Biyogaz Depolama Sistemleri

Biyogazı depolamak için çeşitli düzenekler kullanılmaktadır. Üreteç içerisinde, su sızdırmaz ve yüzebilir gaz tutucularla, gaz torbaları ile ve gaz tanklarında yüksek basınçta depolamak mümkündür.

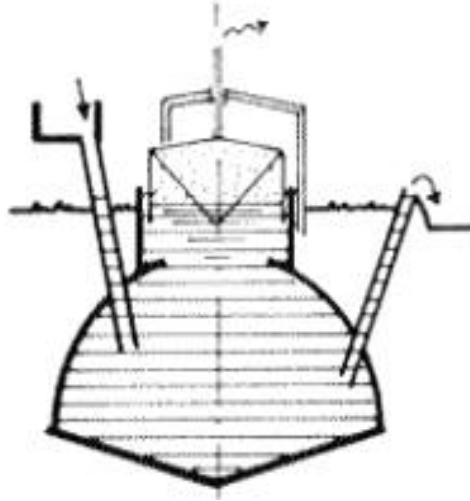
Sabit kubbeli Çin tipi üreteçlerde ayrı bir depolama düzeneği kullanılmayacaksa üretecın üst bölümü depolama gayesiyle kullanılmaktadır. Şekil 1.44’de sabit kubbeli biyogaz reaktörü ve basınç değişimi gösterilmiştir. Gaz kullanılmadığı zamanlarda üreteç içerisinde basınç, boşaltma tankının seviyesi ve üreteçteki materyalin seviyesi arasındaki farkla oluşur ve değişkendir. Kishore vd., gaz kullanımı olmazsa artık gaz yükleme ve boşaltma tanklarından baloncuklar şeklinde kaçacağını belirtmişlerdir (Eryaşar, 2007).



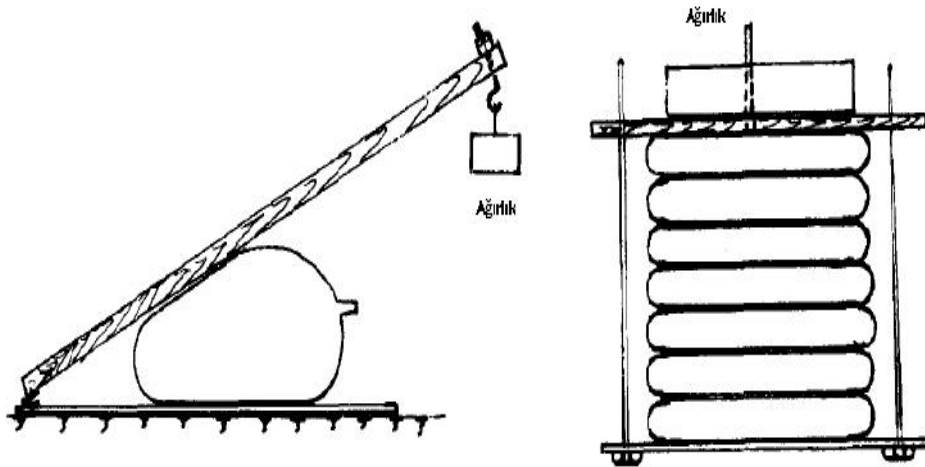
Şekil 1.44. Sabit kubbeli biyogaz reaktörü ve gaz basınçlandırma prensibi (Öztürk, 2005).

Hareketli kubbeli ve yüzer çatılı Hindistan tipi üreteçlerde gaz depolama tankı, sabit kubbeli üreteçlerde olduğu gibi üretecın üst kısmındadır. Ancak bu üreteç tiplerinde sistemde üretilen gaz biriktikçe üstteki kubbe yukarı doğru hareket etmektedir. Şekil 1.45’de hareketli kubbeli biyogaz reaktörü görülmektedir. Üreteçlerde kubbe çevresindeki sızdırmazlık sıvı (su, yağ vb.) ile sağlanmaktadır. Gazın kullanımı için gerekli basınç hareketli kubbe kısmının ağırlığı ile sağlanmaktadır ve sabittir.

Gustavsson, gaz torbası şeklinde, genellikle kauçuk ve vinil malzemeden yapılan biyogaz depoları küçük tesislerde tercih edildiğini belirtmiştir. Şekil 1.46’da görüldüğü gibi çeşitli şekillerde üretilebilen bu depolarda gerekli basınç, üretim malzemesinin elastikiyetinden faydalanarak sağlandığı gibi, depo üzerine ilave ağırlık konarak da elde edilebilmektedir (Eryaşar, 2007).

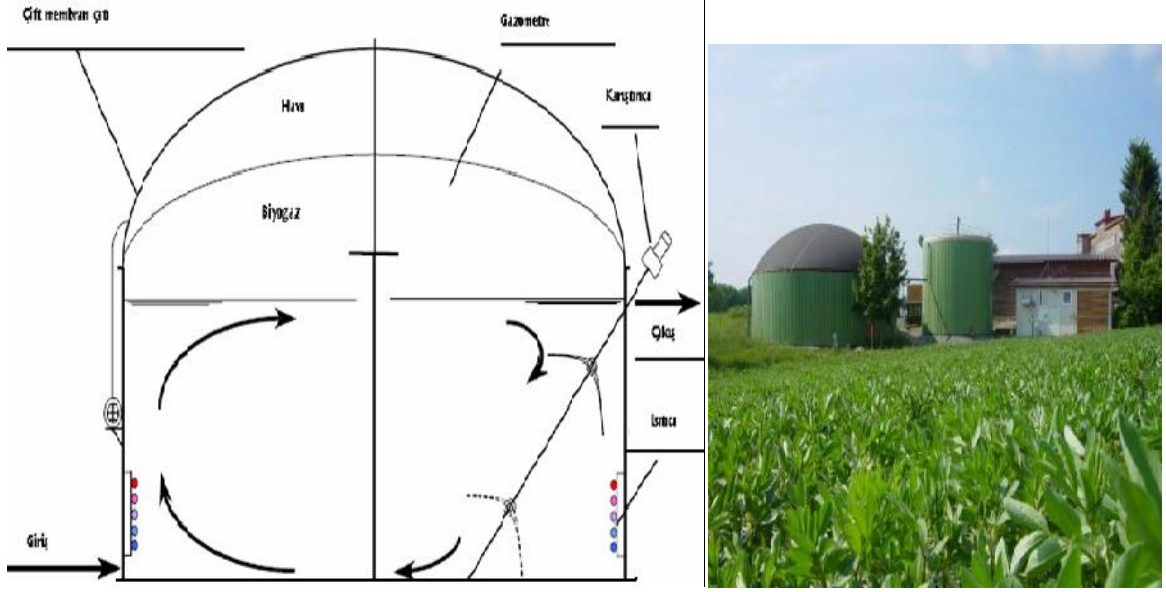


Şekil 1.45. Hareketli kubbeli biyogaz reaktörü (Eryaşar, 2007).



Şekil 1.46. Torba tipi gazometre

Torba tipi gazometrelerin çalışma prensibinden hareketle, modern tesislerde, reaktöre entegre ve ayrı olarak çift membranlı gazometreler dizayn edilmiştir. Bu tip gazometrelerde içte ve dışta iki membran bulunmaktadır. İçteki membran biyogazın depolanmasını sağlarken, dıştaki membran hava şartlarından iç membranı korumaktadır. Gazometre içerisindeki basınç, iki membran arasına hava basılarak sabitlenmektedir. Şekil 1.47’de reaktöre entegre çift membranlı gazometre görülmektedir (Fischer ve Krieg, 2002).



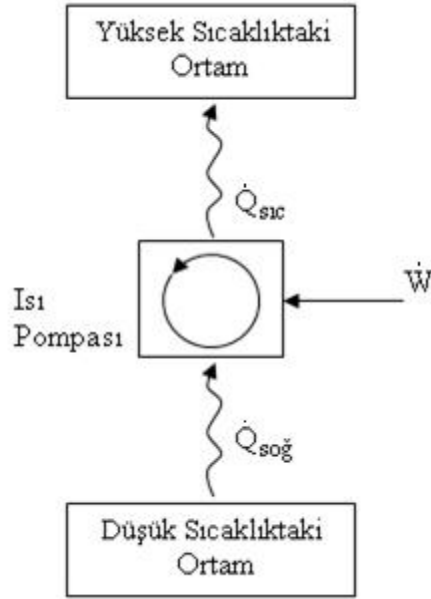
Şekil 1.47. Çift membran çatılı biyogaz reaktörü (Fischer ve Krieg, 2002).

1.9. Isı Pompası

Isı pompası basit olarak ısı enerjisini bir ortamdan diğer bir ortama taşıyan ve elektrik enerjisini kullanarak çalışan bir sistemdir. Bilindiği üzere enerji vardan yok, yoktan var edilemez, sadece ya biçim değiştirir yâda bir yerden bir yere taşınır. Isı pompası da adını, ısı enerjisini bir ortamdan diğer bir ortama "pompalama" veya "taşıma" kabiliyetinden alır. Gerekli şartlar sağlandığında ısı pompaları ile yüksek miktarlarda enerji düşük maliyetlerle kullanıma bu şekilde sunulabilmektedir.

Isıtma sektöründe çoğu insan için ısı pompası terimi yenidir. Hâlbuki evlerimizde kullandığımız buzdolabı, klima, nem giderici ve dondurucular aynı mantığın ürünüdürler. Çalışma prensibi ısıyı taşıma mantığına uyduğundan "ısı pompası" başlığı altında toplanabilirler. Soğutma makineleri ısıtma veya ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılırlarsa ısı pompası adını alırlar. Mesela buzdolaplarında yiyeceklerin bulunduğu iç ortam soğuktur ve arkasındaki borular oluşan ısıyı ortama bıraktıklarından sıcaktır. Isı pompasının günümüze kadar soğutmada izlediği yükselen grafikte olduğu gibi, bugünden itibaren ısıtma amaçlı kullanımda da çok büyük bir rolü olacaktır (Yüksel, 2006).

1.9.1. Isı Pompası Termodinamiği



Şekil 1.48. Isı pompası prensip şeması

W_{net} çevrimde dolayan akışkan üzerinde yapılması gereken sıkıştırma işini göstermektedir.

$$W_{net} = \dot{Q}_{sıc} - \dot{Q}_{soğ} \quad (1.3)$$

Bir ısı pompasının ısıl değerlendirilmesi, etkinlik katsayısı (COP) ile yapılır. Etkinlik katsayısı aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (1.4)$$

$$COP = \frac{\text{Elde edilmek istenen ısıtma etkisi}}{\text{Harcanan iş girişi}} = \frac{\dot{Q}_{sıc}}{W_{net}} \quad (1.5)$$

$$COP = \frac{\dot{Q}_{sıc}}{\dot{Q}_{sıc} - \dot{Q}_{soğ}} \quad (1.6)$$

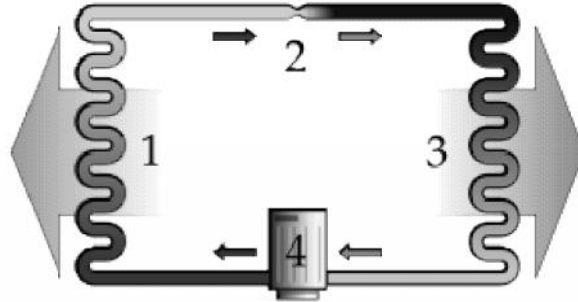
Isı pompasını, basitçe ısı makinesinin tersi bir çevrim olarak göz önüne alabiliriz. Isı makinesi, yüksek sıcaklıktaki ortamdan ısı çekerek, düşük sıcaklıktaki ortama aktaran ve bu işlemi yaparken dışarıya işveren makinedir. Şekil 1.48’de prensip şemasında görüldüğü

gibi ısı pompası, dışarıdan enerji verilmesi ile düşük sıcaklıktaki ısı kaynağından aldığı ısıyı yüksek sıcaklıktaki ortama veren makinedir (URL-8, 2010).

Kışın ısıtma maksadı ile kullanılan ısı pompası, yazında soğutma amacı ile kullanılabilir. Isının, soğuk ısı kaynağından sıcak ısı kaynağına nakledilmesi çeşitli şekillerde gerçekleştirilebilir. Buna göre ısı pompası çeşitleri aşağıdaki gibidir:

1. Buhar sıkıştırmalı çevrim,
2. Absorbsiyonlu ısı pompası,
3. Gaz çevrimli ısı pompası,
4. Jet buhar püskürtmeli ısı pompası,
5. Stirling çevrimli ısı pompası,
6. Adsorbsiyonlu ısı pompası,
7. Resorbsiyonlu ısı pompası,
8. Rankine/Buhar sıkıştırmalı çevrim,
9. Termoelektrik ısı pompası.

1.9.2. Isı Pompalarının Çalışması



(1.Yoğuşturucu (Kondenser), 2. Genişleme vanası (Kısılma vanası olarak da rastlanabilir),
3. Buharlaştırıcı (Evaporatör), 4. Kompresör)

Şekil 1.49. Isı pompası çevrim şeması

Isı pompasının amacı bir ortamı sıcak tutmaktır. Bu işlevi yerine getirmek için düşük sıcaklıktaki bir ısı enerjisi deposundan alınan ısı, ısıtılmak istenen ortama verilir. Şekil 1.49'da ısı pompası çevrim şeması görülmektedir. Burada çevrim akışkanı (soğutucu akışkan) halokarbon veya amonyak olabilir. Akışkan düşük basınçta, düşük sıcaklıkta ısı

kaynağından ısı çeker ve kompresörde basıncı yükselir. Yoğuşturucuda ise yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağına ısı verildikten sonra genişleme vanasında tekrar başlangıçtaki basıncına dönerek çevrimi tamamlar. Düşük sıcaklıktaki ısı enerji deposu genellikle soğuk çevre havası, kuyu suyu veya toprak, ısıtılmak istenen ortam ise bir evin içidir.

Isı pompası sistemlerinde, buharlaştırıcıların ısı çektiği ortamlara “ısı kaynakları (ısı çukurları)” denir. Isı pompası için çok önemli olan bu kaynakların ısı pompası ile uyum sağlayabilmesi, aşağıda belirtilen şartlara bağlıdır;

- Kaynak sıcaklığının fazla değişmemesi,
- Kaynak sıcaklığının mümkün olduğu kadar büyük olması,
- Kaynağın bol bulunabilir olması,
- Coğrafi koşullardan mümkün olduğu kadar az etkilenmesi,
- Kaynağın kirli olmaması,
- Korozyona sebep olmaması

istenir.

Bir ısı pompasının teknik ve ekonomik performansı, ısı kaynağının karakteristiğine bağlıdır. Binalarda kullanılan ısı pompaları için ideal bir ısı kaynağı;

- Isıtma dönemi boyunca yüksek ve fazla değişmeyen bir sıcaklığa,
- Bol bulunabilirliğe,
- Aşındırıcı ve kirletici etkenler taşınamaması durumuna, uygun termofiziksel özelliklere,
- Düşük yatırım ve işletim maliyetlerine sahip olmalıdır.

Çoğu durumda ısı kaynağının bulunabilirliği, en önemli etken olmaktadır. Isı pompalarında kaynak olarak;

- | | |
|---------------------------|---------------------|
| • Çevre havası, | • Toprak, |
| • Deniz, nehir, göl suyu, | • Yeraltı suları, |
| • Artık sızılar, | • Artık gazlar, |
| • Artık ısılar, | • Jeotermal enerji, |
| • Güneş | |

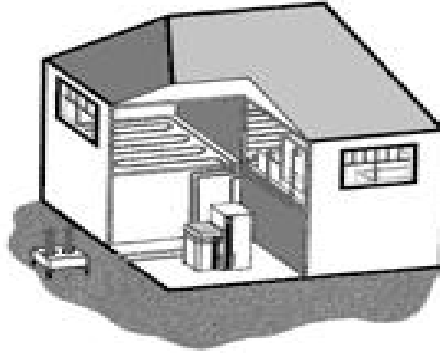
kullanılabilmektedir. Hepsinin birbirine göre farklı özellikleri vardır.

1.9.3. Isı Pompası Kaynak Çeşitleri

Isı kaynağı olarak mümkün olan en sıcak kaynak, ısı pompası için en uygun kaynaktır. Ancak, kaynak sıcaklığının doğrudan kullanıma imkân vermeyecek bir değerde olması gerekir, aksi takdirde ısı pompasına gerek duyulmaz. Bulunabildikleri yerlere göre kaynaklar çeşitlilik göstermektedir.

1.9.3.1. Çevre Havası

Hava, ısı pompası için üniversal, ucuz, bol bir ısı kaynağıdır. Bu yüzden tüm ülkelerde kullanılır. En büyük avantajları, sürekli bulunmasından başka, geniş bir uygulama alanının bulunması; kullanılan ekipmanların makul boyutlarda olması ve nispeten düşük işletme ve tesis maliyetleri gerektirmeleridir. Ayrıca tasarımı için, çok geniş ve ayrıntılı bilgi kaynakları mevcuttur (Bose ve Parker, 1983).



Şekil 1.50. Hava kaynaklı ısı pompası

Şekil 1.50’de gösterildiği gibi yeraltı su kaynağı olmaması ve topraktan ısı alınmasının çeşitli nedenlerle mümkün olmaması durumunda, ısı kaynağı olarak dış hava kullanılır. Bu tür ısı pompaları, mevcut sistemlere yapılan ekler ve çiftli işletim sistemleri için ideal çözümdür. Özellikle soğuk havalarda, ısı pompasında mevcut olan donmayı önleyici sistem sonucu, dış hava sıcaklığının -18°C soğuk olması halinde çalışması mümkündür. Bu sistemlerde, ısı pompası bina içine, buharlaştırıcı sistem ise bina dışına kurulur.

Hava kaynaklı ısı pompalarının mevsimlik performans faktörü (SPF) toprak kaynaklı ısı pompalarından %10 – 30 daha düşüktür. Bunun nedeni olarak, dış hava sıcaklığının düşmesi ile buharlaştırıcıda yüksek sıcaklık farkı oluşması ve bu durumda buharlaştırıcının buzlanması ve fanların çalıştırılması için gerekli enerji, kapasite ve performansta hızlı bir şekilde düşüşe yol açması gösterilebilir. Hava kirliliği de bir dezavantajdır. Ayrıca ısı geçişini artırmak amacıyla buharlaştırıcı genellikle kanatlı yüzeylerden imal edilir ve fanlar kullanılır.

1.9.3.2. Toprak

Toprak altına gömülü bir ısı değiştirici vasıtasıyla toprağın ısınımlı alırlar. Yıl boyunca güneşin yeryüzüne sağladığı ve toprağın depoladığı enerji, ısı kaynağı olarak kullanılır. Güneş, yaz mevsiminde öğle vakitlerinde 1000 W/m² toprak alanı enerji, kış mevsiminde ise 50-200 W/m² toprak alanı enerji göndermektedir.

Tablo 1.11. Yaygın olarak kullanılan ısı kaynakları (URL-9, 2010)

Isı Kaynakları	Sıcaklık Aralığı (°C)
Çevre havası	-10 – 15
Eksoz havası	15 – 25
Yer altı suyu	4 – 10
Göl suyu	0 – 10
Nehir suyu	0 – 10
Deniz suyu	3 – 8
Kaya	0 – 5
Toprak	0 – 10
Atık su ve sıvı atıklar	>10

Topraktan yeryüzünün üstüne akan ısı akısı ise sadece 0.042-0.063 W/m² toprak alanı değerindedir. Bu ise pratikte ihmal edilebilir. Bundan dolayı toprağın yıl içerisindeki sıcaklık değerleri dengeli ve yüksektir. Tablo 1.11’de yaygın olarak kullanılan ısı kaynaklarının sıcaklık aralıkları verilmiştir. Toprağın 1-2 m altındaki sıcaklık değerleri çok az değişmekte olup, yıl boyunca en düşük sıcaklık 0°C’nin altına inmemektedir. Bu durum

toprağın, kışın en soğuk günlerinde bile optimal işletme için gerekli olan sıcaklık değerlerine sahip olduğunu gösterir. Aynı zamanda yeraltı ve yüzey suyuna kıyasla yararlanma imkanının çok daha fazla oluşu toprağı ısı pompaları için önemli bir ısı kaynağı/çukuru durumuna getirmiştir. Toprak sıcaklığının hava sıcaklığına kıyasla yıl içinde fazla değişmemesi ve kışın uygun sıcaklık seviyesinde olması toprak kaynaklı sistemlerin özellikle karasal iklimlerde kullanımına imkân sağlamaktadır (Hepbaşlı, 1985).

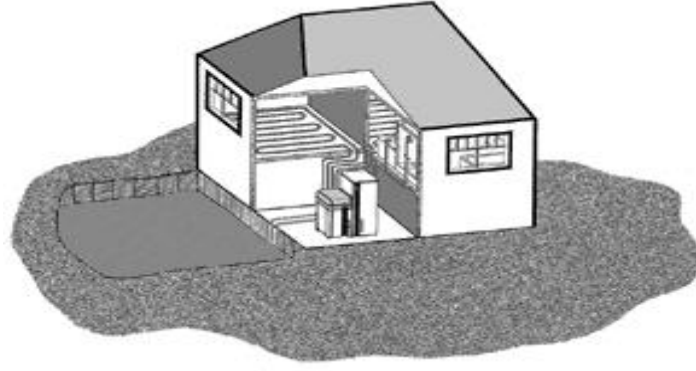
Toprak iyi bir kaynaktır, fakat ısı değiştiricisini toprağa gömmek ve korozyonu önlemek için iyi malzeme kullanmak gerekir. Bu da ilk yatırım masrafını arttırır. Mevcut toprak alanı, toprağın bileşimi, yoğunluğu, içerdiği nem miktarı, boruların toprağa gömülme derinliği gibi faktörler toprak kaynaklı ısı pompalarında ısı değiştiricisinin seçiminde ve boyutlandırmasında önemli rol oynar.

Toprak kaynaklı ısı pompalarının dezavantajları ise şunlardır:

- İlk yatırım maliyetinin yüksek olması,
- Boş toprak alanına duyulan büyük ihtiyaç,
- Toprak özelliklerindeki yerel ve zamansal değişimler,
- Boruların yerleştirilmesindeki güçlükler,
- Onarımının zor ve masraflı olması.

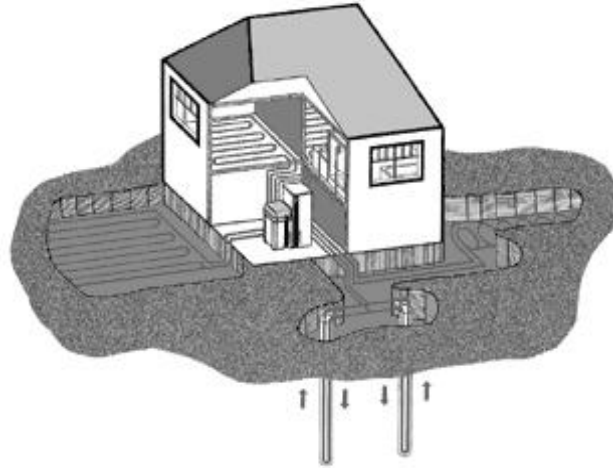
Toprak kaynaklı ısı pompaları boş toprak alanına duyulan ihtiyaçtan ve ilk yatırım maliyetinin yüksek oluşundan dolayı müstakil yapılarda, özellikle villa tipi evlerde ve çeşitli ticari/kurumsal binalarda kullanılmaktadır.

Boruların gömüleceği yerdeki toprağın özelliği, içerdiği nem miktarı ve gömme derinliği, toprak ısı değiştiricisinin seçimini ve boyutlandırılmasını etkiler. Aynı zamanda ısı pompası da çalıştırıldığı andan itibaren toprağın özelliklerini etkiler. Isı pompası ısı çekeceği için toprak ısı değiştiricisine yakın yerlerde toprak sıcaklığı düşer. Dolayısıyla bu bölgede nem miktarı ve toprak özellikleri değişir. Buharlaştırıcıya giriş sıcaklığı da aynı sebeple düşer ve dolayısıyla ısı pompası kapasitesi ve ısıtma performans katsayısı doğrudan etkilenir. Soğuk yörelerde, ısıtma yapıldığı süre içinde toprağa yeteri kadar ısı girişi olmazsa, kış aylarında topraktan sürekli çekilen ısı nedeniyle, toprağın donması tehlikesi de mevcuttur. Ancak bu değişim havada olduğu kadar değildir. Bu durum toprak kaynaklı ısı pompalarının hava kaynaklı ısı pompalarına göre avantajı olmaktadır.



Şekil 1.51. Toprak kaynaklı ısı pompası

Şekil 1.51’de gösterildiği gibi toprak ısısı %98 oranında depolanmış güneş enerjisidir. Toprak, kışın en soğuk günlerinde bile, optimal işletme için gerekli olan sıcaklık değerlerine sahiptir. " Toprak kolektörleri " adı verilen özel kolektörler toprağa yerleştirilerek topraktaki ısı alınır. Toprak kolektörlerinin içinde dolaşan ısı taşıyıcı sıvı topraktaki ısıyı, ısı pompasına iletir. Isı taşıyıcının cinsine göre " direkt ısıtma " veya " sole " adı verilen işletim sistemleri söz konusudur. Direkt ısıtmada, ısı pompasının çalışma elemanı olan soğutucu akışkanlar toprak kolektörünün içinde dolaşır. Bu durumda, ısı transfer plakaları ve sole pompası kullanılmaz.



Şekil 1.52. Sole sistemli ısı pompası

Tablo 1.12. Elazığ ili için 2009 – 2010 yılı toprak sıcaklık değerleri (Elazığ Meteoroloji Bölge Müdürlüğü)

Derinliğe Göre Toprak Sıcaklık Değerleri	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
2009 Yılı 5 cm	1.0	4.7	7.5	14.4	22.0	29.5	32.4	31.4	24.8	18.8	8.6	5.9
2010 Yılı 5 cm	4.0	6.1	11.2	16.3	22.0	28.2	33.6					
2009 Yılı 10 cm	2.4	5.9	8.7	15.1	22.2	28.1	31.4	31.2	25.8	19.8	10.0	7.2
2010 Yılı 10 cm	5.3	7.3	12.3	17.4	23.0	28.6	33.8					
2009 Yılı 20 cm	2.3	5.2	7.6	13.6	20.2	26.1	29.1	28.8	24.4	19.1	10.0	6.9
2010 Yılı 20 cm	5.0	6.3	10.9	15.8	21.0	26.7	30.8					
2009 Yılı 50 cm	5.2	6.7	7.9	12.0	17.2	22.9	26.4	27.0	24.9	20.6	13.7	9.6
2010 Yılı 50 cm	7.8	7.2	10.4	14.2	18.5	23.5	26.9					
2009 Yılı 100 cm	8.1	8.1	8.7	11.4	15.3	20.3	23.8	25.2	24.5	21.3	16.4	12.0
2010 Yılı 100 cm	10.0	8.7	10.5	13.6	16.9	21.2	24.0					
Değerler °C olarak verilmiştir.												

Şekil 1.52’de gösterildiği gibi sole seçeneğinde ise, ısı taşıyıcı olarak sole (antifrizli su) dolaştırılarak, ısı topraktan alınır ve ısı pompasına iletilir. Bu durumda, toprak kolektörleri muhtelif şekillerde, döşenebilir. Yeterli arazi olduğu takdirde, ısıtılacak takriben 1.5 katı büyüklüğünde bir alana, yer seviyesinin 1.5 metre altına döşenmesi. Yeterli arazi olmaması halinde, borunun spiral şekilde döşenmesi - derin delik (sonda) uygulaması yöntemi kullanılarak ısıtma işlemi gerçekleştirilir.

Tablo 1.12’de görüldüğü gibi toprak derinliği arttıkça sıcaklık değerleri, binaların ısıtılması gereken aylarda yüzeye veya dış havaya göre daha yüksek ve yaz aylarında ise bu durum tersine dönmektedir. Ortalama dış hava sıcaklık değerleri ile 100cm derinlikteki toprak sıcaklıklarının kıyaslaması tablo 1.13’de görülmektedir. Ölçülmüş olan bu değerler kış aylarında binayı ısıtmada, yaz aylarında da binayı soğutmada istediğimiz bir durumdur.

Bu değerler ışığında ve binanın bulunduğu yer göz önünde bulundurularak diğer ısıtma koşulları ile kıyaslanarak binanın ısıtılmasının hangi sistemle yapılabileceğine karar verilebilir.

Tablo 1.13. 100 cm derinlikteki toprak ve dış hava sıcaklıklarının kıyaslanması (Elazığ Meteoroloji Bölge Müdürlüğü)

	2009 Kasım		2009 Aralık		2010 Ocak		2010 Şubat		2010 Mart	
Gün	Toprak	Hava	Toprak	Hava	Toprak	Hava	Toprak	Hava	Toprak	Hava
1	19.8	11.3	13.4	4.2	11.2	3.4	8.5	4.2	9.4	7.8
2	19.4	10.9	13.3	3.6	11.2	8.6	8.3	6.4	9.6	8.4
3	19.0	6.6	13.2	3.2	10.8	6.2	8.4	5.5	9.6	4.6
4	18.7	10.0	12.8	6.7	10.7	3.4	8.4	-0.4	9.8	4.8
5	18.4	8.9	12.8	7.4	10.6	-0.2	8.4	-0.4	9.6	5.2
6	18.2	8.9	12.6	6.9	10.6	0.2	8.4	-0.6	9.4	7.2
7	18.0	9.2	12.6	6.1	10.4	1.5	8.5	0.8	9.7	9.0
8	17.8	9.4	12.5	4.6	10.3	2.4	8.4	1.9	9.8	9.6
9	17.4	9.6	12.5	5.3	10.2	2.8	8.4	1.2	9.6	12.8
10	17.2	10.2	12.4	5.6	10.0	1.8	8.3	3.4	9.8	11.6
11	17.2	10.2	12.4	6.6	9.8	6.3	8.3	4.6	9.9	11.6
12	17.0	12.2	12.3	5.6	9.9	4.6	8.3	5.0	10.0	16.1
13	17.0	11.3	12.3	5.1	9.8	6.0	8.3	5.2	10.2	14.0
14	16.8	8.4	12.2	2.0	9.8	6.4	8.3	7.8	10.4	12.3
15	16.7	5.5	12.1	0.6	9.7	6.5	8.4	8.6	10.7	15.0
16	16.5	5.4	11.8	3.0	9.8	6.8	8.6	8.4	10.8	6.2
17	16.4	5.6	11.8	5.0	9.7	7.7	8.6	8.6	10.8	4.0
18	16.2	7.0	11.7	4.5	9.7	8.6	8.6	9.4	11.0	3.5
19	15.6	5.5	11.5	6.8	9.7	6.2	8.8	8.3	11.0	4.4
20	15.0	6.2	11.3	6.2	9.9	6.5	9.0	7.9	10.9	4.9
21	15.0	8.4	11.3	9.2	9.8	5.7	9.0	9.8	10.6	6.6
22	15.0	7.0	11.3	7.0	9.9	3.2	9.2	6.2	10.8	8.4
23	14.7	6.2	11.3	5.5	9.9	4.2	9.4	4.3	10.9	11.4
24	14.6	6.5	11.2	6.5	9.9	4.3	9.5	6.1	10.9	12.6
25	14.5	5.9	11.2	5.6	9.8	-1.9	9.4	6.1	11.0	14.4
26	14.3	6.2	11.2	5.6	9.8	-5.6	9.4	6.5	11.2	14.6
27	14.3	4.5	11.3	6.8	9.6	-6.2	9.5	7.6	11.5	13.8
28	14.1	4.0	11.3	6.4	9.6	-4.2	9.5	7.0	11.6	13.1
29	13.8	3.2	11.2	8.1	9.4	-2.1			11.6	10.5
30	13.6	5.8	11.2	6.1	9.0	1.4			12.2	7.2
31			11.2	3.6	8.8	4.9			12.3	7.5
Değerler °C olarak verilmiştir.										

1.9.3.3. Deniz, Nehir, Göl Suyu (Yüzey Suları)

Yüzey suyu kaynaklı sistemler deniz, göl, gölet vb büyük su kütlelerini ısı kaynağı olarak kullanırlar. Deniz ve göl suyu sıcaklıkları mevsimlere göre değişmesine rağmen hava ve toprağa kıyasla fazla bir değişiklik göstermez. Bazen drenaj amacıyla veya estetik açısından bir bölgeye, göl veya göletler eklenir. Bunlar ısı pompası sistemleri için olası ısı kaynakları ve çukurları olarak görülmelidir. Nehir ve göl suyu kaynaklı ısı pompalarında su derinliğinin 2m'den az olmaması ve yüzey alanının, kurulu ısı pompası kapasitesinin her bir kW'ı için en az 80m² olması gerekmektedir. Bu ısı kaynaklarının en büyük dezavantajı kışın sıcaklıklarının yaklaşık 0 °C'ye kadar düşmesidir. Nehir ve göl suyu, ısı pompalarında tıpkı yeraltı sularında olduğu gibi açık ve kapalı devre olarak kullanılmaktadır. Açık devre sistemlerde buharlaştırıcının ve sistem elemanlarının donma ve kirlenme riski olup, sistem tasarımında bunlara dikkat edilmelidir. Kapalı devre sistemlerde bu problemlerin önüne geçilmektedir. Nehir ve göl suyu kaynaklı ısı pompası sistemlerinin ilk yatırım maliyeti toprak kaynaklı ısı pompalarından daha düşüktür. Ancak bunların kullanımı ve tahliyesi, yerel yönetimlerin yaptıkları düzenlemelere bağlı olup, çeşitli kısıtlamalar veya yasaklar söz konusu olabilmektedir. Nehir ve göl sularının kullanımı durumunda ısıtma ihtiyacının karşılanması için ikinci bir ısıtıcıya da gerek duyulmaktadır.

Deniz suyu belli şartlar altında mükemmel bir ısı kaynağı olup, genellikle orta ve büyük ölçekli ısı pompası uygulamalarında kullanılır. 25-50m derinlikte deniz suyu sıcaklığı 5-8°C arasında sabittir ve buzlanma gibi bir sorun yoktur. Çünkü deniz suyunun donma sıcaklığı -1°C ile -2°C arasındadır. Deniz suyunun kullanımında açık ve kapalı devre sistemler uygulanabilmektedir. Kapalı devre sistemler ise boruların içerisinden soğutucu akışkanın dolaşarak ısı alışverişi yaptığı doğrudan buharlaşmalı sistem şeklinde uygulanabileceği gibi, borularda suyun ya da salamuranın dolaştırıldığı ara akışkanlı sistem şeklinde de uygulanabilir. Sistem tasarımında, korozyona dayanıklı ısı değiştiriciler ve pompalar kullanılmalı, deniz suyunun temas ettiği boru hattı ve elemanlarda organik kirlenme en aza indirilmelidir (Erdoğan vd., 2006).

1.9.3.4. Yeraltı Suları

Yeraltı suyu yeterli miktarda ve kalitede olması, ayrıca uygun derinlikte bulunması durumunda ısı kaynağı olarak kullanılabilir. Yeraltı sularını ısı kaynağı olarak oldukça çekici kılan, 10 metre ve daha fazla derinliklerde yeraltı suyunun sıcaklığının yüksek ve neredeyse sabit oluşudur. Yer altı suları pek çok bölgede 4-10°C arasında kararlı sıcaklığa sahiptir. Suyun sıcaklığı; çıkarıldığı derinliğe, iklime ve bölgenin jeolojik yapısına bağlıdır. Bu ısı kaynağından yararlanmak için açık veya kapalı sistemler kullanılmaktadır. Açık sistemlerde yeraltı suyu ısı pompasına pompalanır, ısısı alınır ve daha sonra ayrı bir kuyuya veya yüzey suyuna geri gönderilir. Kapalı sistemler ise direkt genleşmeli tip (soğutkan yeraltı ısı değiştiricide buharlaşmaktadır) veya salamura çevrimli tip olabilir (Hepbaşlı, 1985; URL-9, 2010).

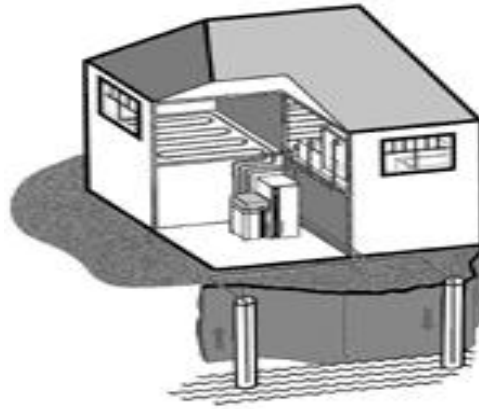
Yeraltı suyu sıcaklığı mevsimden mevsime çok az değiştiğinden yeraltı suyu sistemleri özellikle hava sıcaklığının yaz ile kış arasında büyük değişim gösterdiği karasal iklimler için cazip bir ısı kaynağı ve ısı çukuru olarak göze çarpmaktadır. Yıl boyunca belirli bir mahaldeki yeraltı suyu sıcaklığı yaklaşık olarak oradaki ortalama yıllık hava sıcaklığına eşittir. Aşırı derinliğe sahip kuyulardaki yeraltı suyu sıcaklığı ortalama yıllık çevre sıcaklığından daha yüksektir.

Yeraltı suyunun başlıca dezavantajları ise suyun bulunabilirliği, miktarının yeterliliği, ilk yatırım maliyetinin yüksek oluşu, kalitesi düşük olan suların yol açtığı sorunlar, yerel yönetmeliklerden kaynaklanabilecek kısıtlamalar ve çevre kirliliği oluşturma ihtimalidir. İçine pis suların karışması tehlikelidir. Isı değiştiricilerinin yeraltına gömülmesi korozyona neden olabilir ve maliyeti artırır. Daha önceden açılmış bir su kuyusunun mevcut olması durumunda, sistemin ilk yatırım maliyeti oldukça düşürülebilir. Taşınması için pompa kullanılıyorsa ek bir enerji kullanılıyor demektir. Korozyonu azaltmak için ısı değiştiricisinin paslanmaz çelikten imal edilmiş olması gerekmektedir. Ama suyu kaynak olarak kullanmanın bir avantajı ise, ısı değiştiricilerinde, ısı geçişinin daha yüksek olmasıdır.

Alternatif bir tasarım ise derin kuyu sistemleridir. Bu sistemlerde su kuyunun dibinden çekilir ve kuyunun üst tarafından tekrar kuyuya geri gönderilir. Böylece çekildiği kuyudan aşağıya inerken su ısınır veya soğur. Yöntem, uygun ve etkin bir ısı transferi sağlamaktadır. 6inç çapına ve 450m derinliğine kadar derin kuyu sistemleri bulunmaktadır. Bu sistemlerde su, direkt olarak ısı pompasında kullanıldığından korozif ve tortulu

olmamalı ve ayrıca bol miktarda olmalıdır. Kuyu, suyun çok derinde olduğu bir bölgede açılacak ise pompalama maliyeti çok yüksek olacaktır. Yeraltı su kaynaklı sistemlerde kapalı devre kullanılması iyi bir tasarım uygulamasıdır. Bu sayede:

- Tortu ve çamur oluşumu azaltılır ve temizlik kolaylaşır.
- Bina devresinde bulunan ısı pompaları arasında dahili ısı geri kazanımı oluşmasına imkan sağlanır.
- Pompa boyunca statik basınç farkı düşürülerek devrede bulunan pompanın enerji ihtiyacı azaltılır.



Şekil 1.53. Yer altı kaynaklı ısı pompası

Şekil 1.53’de gösterildiği gibi toprağın ulaşılabilir derinliğinde sürekli akışı olan yeraltı su kaynağı bulunması durumunda bu kaynaktaki su ısı kaynağı olarak kullanılabilir. +8°C ile +12°C sıcaklıkları arasındaki su optimal bir işletmeye imkan tanır. Bu sistemlerde, yeraltı suyu açılan bir kuyu ile topraktan emilir, ısı pompasında kullanıldıktan sonra emiş kuyusuna yaklaşık 15 metre uzaktaki bir geri basma kuyusu ile tekrar toprağa gönderilir. Bu şekilde kullanılan suyun sıcaklığının kullanılmayan suyun sıcaklığını etkilemesi önlenmiş olur.

1.9.3.5. Artık Gazlar

Evlerde ve küçük işyerlerinde kullanılabilen ortak ısı kaynağıdır. Atık hava ile çalışan ısı pompaları, kullanılmış havanın ısını geri kazanmak suretiyle iç ortamın havasını ısıtır veya sıcak su elde ederler. Ortam havasını ısıtmak için kullanılan atık hava

kaynaklı ısı pompaları, iç ortamın ılık havasını ısı kaynağı olarak kullanarak soğutucu akışkan vasıtasıyla havalandırma sisteminden gelen taze havayı ısıtır ve bu havayı iç ortama vererek ısıtma yapabilirler. Ancak bu sistemin uygulanabilmesi için binada havalandırma sisteminin mevcut olması şarttır. Sıcak su elde etmek amacıyla kullanılan atık hava kaynaklı ısı pompalarında ise ortam havasının ısısı, ısı pompası içerisinde sirkülasyon yapan akışkana verilmekte ve akışkan buharlaştırılıp ısısı suya verilerek suyun ısıtılması sağlanmaktadır.

1.9.3.6. Artık Isılar

Prosesle ilgili olarak bazı avantajları veya dezavantajları olabilir. Atık sular, arıtılmış veya arıtılmamış kanalizasyon suları, endüstriyel sıvı atıklar, endüstriyel proseslerin/motorların/kompresörlerin soğutma suları ve soğutma makinelerinin yoğunlaştırıcı suyu bu ısı kaynaklarının tipik örnekleridir. Bu ısı kaynaklarının en büyük avantajı nispeten yüksek ve sabit sıcaklıklara sahip olmaları, en büyük dezavantajları ise miktarlarındaki değişkenliktir. Bu yüzden ısı pompalarının düzenli çalışmasını temin etmek amacıyla depolama tanklarına gereksinim duyulabilmektedir. Atık su ve sıvı atıkların gerek miktarlarındaki düzensiz değişimler ve gerekse uzaklık nedeniyle evlerde ve ticari/kurumsal binalarda ısı kaynağı olarak kullanımları genellikle sınırlıdır. Ancak atık sular ve sıvı atıklar endüstriyel işlemlerde enerji tasarrufu sağlayan endüstriyel ısı pompaları için ideal ısı kaynaklarıdır.

1.9.3.7. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerjiden ısı pompalarında iki şekilde yararlanılabilir. Birincisi yeraltından yüzeye ulaşmış düşük sıcaklıktaki kaynak suları ısı pompalarında ısı taşıyıcı akışkan olarak kullanılabilir. İkinci yöntem ise yeryüzünün derinliklerinde bulunan kayaçların jeotermal ısısından yararlanmaktır. Bu yöntem yeraltı suyunun hiç bulunmadığı veya çok az miktarda bulunduğu yerlerde uygulanabilir. Tipik sondaj kuyusu derinliği 100 ile 200m arasındadır. Yüksek ısı kapasite istendiğinde, açılan kuyular büyük bir kayaç hacmine ulaşınca kadar ilerletilir. Bu tür ısı pompaları daima polietilen borularla kayaçtan ısı çeken salamura

sistemine bağlanırlar. Sondaj işleminin yüksek maliyetinden dolayı kayaçların küçük konutlarda ısı kaynağı olarak kullanılması ekonomik açıdan genellikle uygun değildir (Erdoğan vd., 2006).

1.9.3.8. Güneş

Güneş enerjisi, güneşten gelen ve dünya atmosferinin dışında şiddeti sabit ve 1370 W/m^2 yeryüzünde ise $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında olan yenilenebilir enerjidir. Isı pompalarında güneş enerjisi tek başına kullanılabileceği gibi daha çok diğer ısı kaynaklarının yanında destek olarak kullanılmaktadır. Güneş enerjisi kaynaklı ısı pompaları güneş enerjisinden doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki şekilde yararlanmaktadırlar. Güneş enerjisini doğrudan kullanan sistemlerde kollektör, buharlaştırıcı görevi yapmakta ve soğutucu akışkan güneş enerjisi ile doğrudan buharlaştırılmaktadır. Dolaylı sistemlerde ise kollektör içerisinden geçirilen su veya hava ısı taşıyıcı olarak kullanılmakta ve buharlaştırıcıda ısınıp soğutucu akışkana vermektedir (Sauer ve Howell, 1983; Yılmaz, 2000).

İyi bir kaynaktır, fakat ilk yatırım masrafı çok, bakım masrafı az ve temizdir. Hava kaynağında olduğu gibi, ısı ihtiyacının yüksek olduğu yerlerde güneş enerjisi de az olduğundan; ek bir ısıtma tesisatına veya ısının depolanmasına gerek vardır. Bu da zaten pahalı olan sistemin maliyetinin artmasına neden olur.

Güneş enerjisi kaynaklı ısı pompalarının en büyük avantajı buharlaştırıcıda daha yüksek sıcaklık, dolayısıyla daha yüksek ısıtma etki katsayısı elde edilmesidir.

Isı pompaları, ayrıca, tek başına ya da ek bir sistemle birlikte kullanılabilir. Isıtma ihtiyacını tek başına karşılayanlara “monovalent ısı pompaları”, ek bir kaynak yardımıyla bu ihtiyacı karşılayanlara ise “bivalent ısı pompaları” denir. Bivalent durumda ısı pompası ısıtma yükünün %50 – 95 ‘ini karşılar. Bivalent sistemlere örnek olarak güneş toplayıcıları ve kazanlar verilebilir. Bu ikili sistemlerin çalışması da sıralı veya birlikte olmaktadır. Sıralı çalışma bir sistem devreden çıktığında ötekinin devreye girmesidir. Isı pompası – kazan sistemi bu şekilde çalıştırılabilir. Isı pompasının çalıştırılmasının ekonomik olmadığı durumlarda ısı pompası devreden çıkar ve kazan devreye girer. Birlikte çalışmaya örnek olarak da ısı pompası – güneş toplayıcıları sistemi verilebilir. Binanın ısıtılmasında

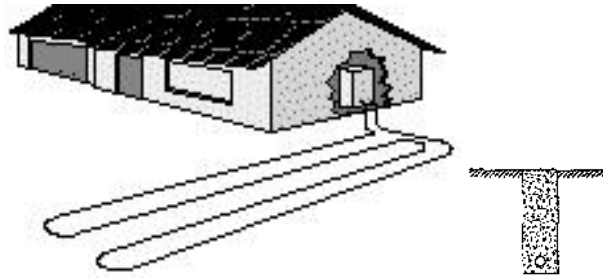
kullanılan ısı pompasının çalışması için gerekli sıcaklık aralığı güneş enerjisi sayesinde sağlanabilir.

Yukarıdaki değerlendirmelerde görüldüğü gibi her kaynağın kendine göre avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Seçilecek kaynağın tespitinde bu bilgiler ışığında ısıtılacak binanın bulunduğu yer ve iklim şartları önemli belirleyicilerdir.

1.10. Toprak Isı Değiştiricisi Tipleri

Toprak kaynaklı ısı pompalarında ısı çukuru olarak toprak kullanılır. Toprak, moleküler yapısı nedeniyle ısıyı çok iyi emme özelliğine sahiptir. Yıl boyunca sıcaklığı çok fazla değişmez. Bunun yanı sıra, kışın ısıtmaya ihtiyaç duyulduğunda toprağın sıcak, yazın soğutmaya ihtiyaç duyulduğunda toprağın soğuk olması, amacımıza uygun olan en önemli özelliğidir. Ayrıca toprak sıcaklığının, hava ve su sıcaklığı gibi değişken olmaması bu ısı kaynaklarına olan üstünlüğüdür. Bu yüzden sistemin verimi dış sıcaklıktan bağımsız hale gelir. Bu özelliklerden dolayı toprak ideal bir ısı çukurudur. Burada önemli olan konu; ısı çukurundan nasıl faydalanacağımızdır.

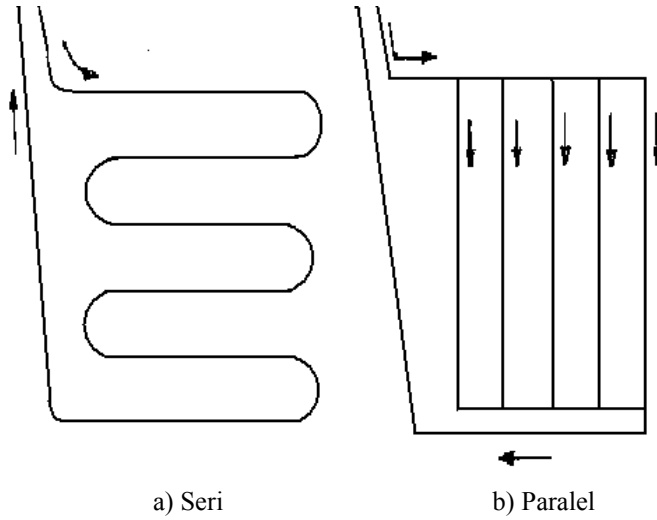
Toprak ile yapılacak olan ısı alışverişi iki türlü olabilir, 'Serme' veya 'Sondaj'. Temelde iki sistem de aynı prensiple çalışır. Sermede borular toprağın altına yatay olarak, sondajda ise borular dikey olarak yerleştirilirler. Isı alışverişi özel üretim olan ve polietilen borular sayesinde gerçekleştirilir. Bu borular içerisinde ısı taşıma görevini de alkol-su (iso-propil) karışımı veya çeşitli akışkanlar vasıtası ile gerçekleştirir. Alkol su karışımı, bir sirkülasyon pompası yardımı ile ısı pompası ve ısı çukuru (kaynağı) arasında dolaştırılır.



Şekil 1.54. Serme (yatay) tipi

1.10.1. Serme (Yatay) Tip Isı Değiştiricisi

Şekil 1.54'de toprak altındaki şekli gösterilen serme tipi olarak adlandırılan yatay sistemde ısı alıcı borular belirli bir mesafede kazılmış olan toprağın içerisine şekil 1.55'de gösterildiği gibi belirli bir düzende yerleştirilip üzeri toprakla örtülerek topraktan ortama ısı geçişi sağlanır. Ancak bu sistemin uygulanabilmesi için çok geniş uygulama alanına ihtiyaç vardır. Dolayısıyla her yerde uygulama imkânı yoktur.



Şekil 1.55. Yatay tipte seri ve paralel ısı değiştiricileri

Serme tip kapalı devre toprak ısı değiştiricileri akış yollarına göre Şekil 1.55. a'da seri, şekil 1.55. b'de de görüldüğü gibi paralel tipte olabilirler. Seri tipte tek bir akış yolu mevcuttur. Paralel tipte ise bir kaç akış yolu vardır. İyi bir akış yolunu sağlamak amacıyla, paralel boru çapları besleme ve dönüş borularının çaplarından ufak olmalıdır.

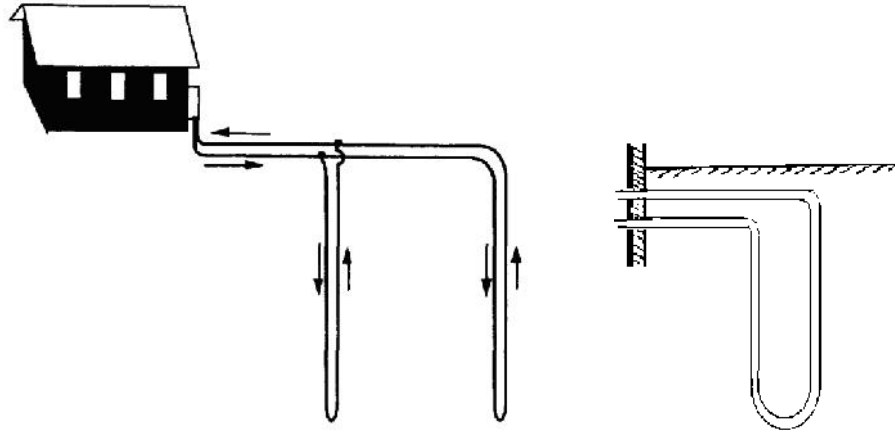
Yatay sistemler tek bir hendek veya birbirine yakın hendekler içine, bir veya birden fazla borunun yerleştirilmesiyle oluşturulur. Isı değiştiricisinin performansı borular arasındaki mesafeye bağlıdır. Bununla beraber toplam hendek uzunluğunu kısaltmak amacı ile tek bir hendek içerisine bir kaç boru yerleştirilebilir. Hendeklerin genişliği 0.6-0.9 m'dir. Borular yüzey şartlarından en az düzeyde etkilenmeleri amacıyla, genellikle 0.5-2.5 m derinlikte döşenirler. Bu mesafe arttıkça, ısı değiştiricisinin performansı, gerek toprak sıcaklıklarının daha uygun olması, gerekse boruların yüzey şartlarından daha az etkilenmesi sebebiyle artar. Ancak, bu durumda, hafriyat masrafları da artacağından gömme derinliğine ekonomik analiz sonucu karar verilmelidir. Şayet, tek bir hendek

içerisine bir kaç kat boru döşenecek ise, borular arası kot farkı genellikle 0.3–0.5 m civarında olmalıdır (Esen, 2001).

1.10.2. Sondaj (Düşey) Tip Isı Değiştiricisi

Düşey ısı değiştiricisi olarak adlandırılan sondaj tipi ısı değiştiriciler genellikle, yatay ısı değiştiricisine göre bazı avantajları vardır. Düşey tiplerde, boruların büyük bir bölümü, toprağın düşük ısı direnç gösteren bölümündedir (toprak altındaki sulu bölge). Bu sistemde çok geniş uygulama sahasına gerek yoktur. Şekil 1.56’da görüldüğü gibi borular sondaj yapılarak yeraltına yerleştirildiği için küçük bir alan yeterlidir. Ayrıca bölgede var ise yeraltı sularının hareketleri ısı değiştiricinin performansını yükseltir. Soğutma öncelikli sistemlerde tercih edilmektedir.

Diğer yandan yatay ısı değiştiricisinin performansı, ısıtma ve soğutma mevsimleri boyunca yağmur, kar ve diğer yüzey olayları sebebiyle, ısı değiştiricisinin yüzeye yakınlığıyla orantılı olarak etkilenir. Bu gibi durumlarda düşey toprak ısı değiştiricileri tek çözümdür (Ataman, 1991).



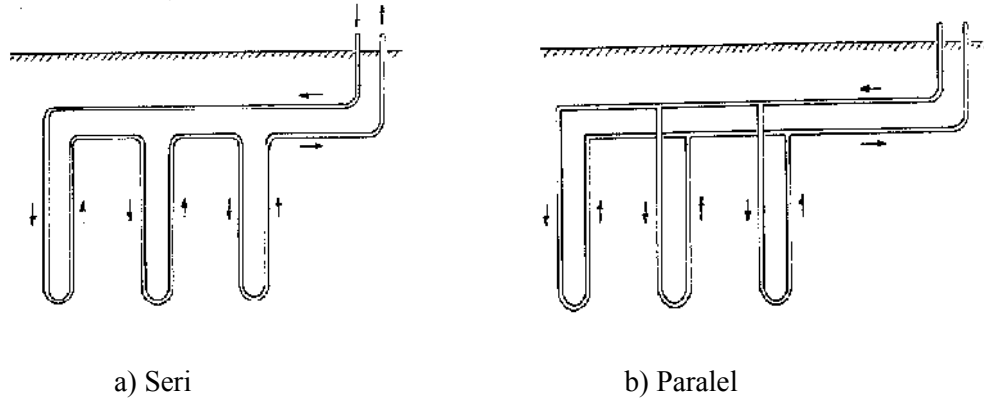
Şekil 1.56. Sondaj Tipi

Düşey toprak ısı değiştiricileri kullanım alanlarının kısıtlı olduğu yerlerde kullanım için ideal bir sistemdir. Sistemin kullanıldığı yerdeki toprak özelliği önemlidir. Killi ve kumlu topraklar uygun depolama ortamları olarak bilinirler. Belirli düzeyden sonra toprak

sıcaklığı nispeten sabittir. Yaklaşık olarak 3m derinlikten sonra toprak sıcaklığı 10 – 16 °C civarındadır. Bu, sistem için avantajdır. Ortalama sondaj çapı 10–15 cm, derinliği ise 50–100 m arasındadır Sondaj uygulaması yoluyla kurulan sistemin (15 m – 185 m) maliyeti yüksek olmaktadır. Bu da sistem için bir dezavantajdır. Şekil 1.57’ de gösterildiği gibi bu tip ısı değıştircileri de toprağa seri veya paralel olarak yerleştirilebilirler.

1.10.3. Boru Uygulamaları

En yaygın yatay ısı değıştircilerin $\frac{3}{4}$ ", 1", $\frac{1}{2}$ " ; tek borulu, 0.5 – 2.5 m derinliğinde ve birbirinden 0.6 – 2.5 m aralıklarda döşenmiş yatay tip boru uygulamalı ısı değıştirciler olduğu belirlenmiştir (Esen, 2001).



Şekil 1.57. Düşey tipte seri ve paralel ısı değıştirciler

Dikkat edilmesi gereken hususlardan biri de, boruların gömüleceği kanallardan çıkarılmış olan toprak tekrar yerine konulurken ısı geçişini artırmak için sıkıştırılması gereğidir. Sebebi boru cidarı ile toprak arasındaki ısı alış – veriş, boru çevresindeki yaklaşık 15cm’lik mesafede daha etkili olmasındandır. Bu sebeple sıkıştırma önem arz etmektedir ve mümkünse boru çevresine konulan malzeme ısı geçişini kolaylaştırıcı malzemeler olmalıdır.

Toprak ısı değıştircilerinde kullanılacak, uygun bir borunun seçilmesi önemlidir. Bu seçim, uygun çap ve et kalınlığının belirlenmesiyle birlikte, uygun bir malzeme seçimini de içerir. Tablo 1.14’de boru çaplarına göre pratikte uygulanan boru uzunlukları verilmiştir (Bose ve Parker, 1983). Bazı toprak ısı değıştircilerinde, boru malzemesi olarak çelik ve bakır kullanılmasına rağmen, çoğunlukla PVC, polibütlen ve polietilen gibi plastik borular

kullanılır. Yüksek mukavemet ve ısıl özelliklere sahip, ucuz plastik boruların üretilmesi, toprak kaynaklı ısı pompalarının kullanımının yaygınlaşmasında önemli bir etkidir. PVC borular, toprak ısı değıştircilerinde yaygın olarak kullanılmışlarsa da, bağlantı yerlerindeki sızıntı ve ısıl genleşme sonucu meydana çıkan gerilmelere dayanma problemlerinden dolayı, son yıllarda yerlerini polietilen ve polibütilen borulara bırakmıştır.

Tablo 1.14. Boru Çapına Göre Boru Uzunluğu

Boru çapı	Boru Uzunluğu(m)
3/4 "	150m ve daha kısa uygulamalar için
1 "	230m ve daha kısa uygulamalar için
1-1/4 "	900m ve daha kısa uygulamalar için
1-1/2 "	1200m ve daha kısa uygulamalar için

1.10.4. Boru Uygulamasında Kullanılacak Akışkanlar

Kullanılacak akışkan bazı temel özelliklere sahip olması açısından önemlidir. İyi bir ısı geçişi sağlamak açısından yüksek bir ısı iletim katsayısına sahip olmalıdır. Akışkanın sisteme rahatlıkla gönderilip alınabilmesi için viskozitenin düşük olması lazımdır. Böylelikle devir daim pompasının gücünü azaltarak enerji tasarrufu da yapmış oluruz. Ayrıca enerji depolama açısından ısı kapasitesi yüksek olmalıdır. Bu özelliklerinin yanı sıra kullanılacak akışkanın seçiminde; fiyatı, akışkan karakteristikleri, zehirlilik, paslandırma etkisi, donma noktası, buharlaşma basıncı, tutuşma özelliği etkili olmalıdır.

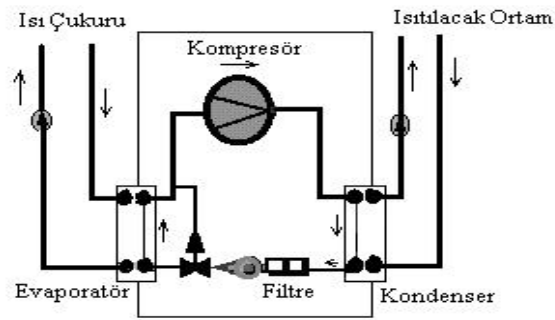
Yukarıdaki özellikler gözden geçirildiğinde, donma probleminin söz konusu olmadığı durumlarda, en uygun akışkanın su olduğu görülmektedir. Su; ucuzdur, her yerde kolaylıkla temin edilir, kolay bulunur ve ısıl özellikleri iyidir. Bunun yanı sıra, donma sıcaklığının yüksek olması ve donma anında hacminin fazla artması da bu maddenin sakıncasıdır. Ayrıca plastik ve bakır borular dışındaki borularda paslanmaya neden olurlar. Donma ihtimaline karşı su içerisine etilen glikol, propilen glikol ve kalsiyum klorid gibi bazı maddeler karıştırılarak bu sorun aşılmaaya çalışılır. Ancak bu katkı maddelerinin özellikleri ve kullanılacak malzeme ile olan tepkimelerine dikkat edilmelidir.

Etilen glikol-su salamuraları, kokusuz ve renksizdirler. Etilen glikol ucuz ve temini kolaydır. Bu eriyikler, suyun korozyon etkisini azaltırlar. Ancak ısıl özellikleri suya nazaran

daha zayıftır. En büyük dezavantajları ise zehirli olmalarıdır. Bu tür salamuraların kullanıldığı ısı değıştircilerinde sızıntıya karşı çok iyi önlem alınması gerekmektedir. Propilen glikol-su salamurasının özellikleri etilen glikol-su salamurasının özelliklerine benzer. Ancak etilen glikole nazaran daha az zehirli ve daha az viskozdur. Yüksek sıcaklıklarda ve zengin oksijenli ortamlarda korozyona neden olduğundan koruyucu katkılarına ihtiyaç duyulur. Ancak yine de, çelik borularla kullanımında fazlaca bir mahsur yoktur. Etilen glikole göre, propilen glikolün viskozitesi yüksek, ısı özellikleri ise zayıftır. Kalsiyum klorid-su salamuraları, toprak ısı değıştircilerinde düşük fiyatları ve iyi ısı özellikleri nedeniyle kullanılırlar. Kalsiyum klorid piyasada toz, katı ve eriyik halde satılır (Esen, 2001).

1.10.5. Toprak Su Kaynaklı Isı Pompalarının Çalışma Prensibi

Alkol su karışımı ile doldurulmuş polietilen boru toprağın içine yerleştirilir ve toprakta olan ısı alışverişini gerçekleşmesini sağlar. Şekil 1.58’de şematik olarak verilen sistemde, sirkülasyon pompası alkol ve su karışımını ısı çukuru ile ısı pompası arasında dolaştırır. Alkol su karışımı ısı enerjisini ısı çukurundan alır buharlaştırıcıya transfer eder ve ısı pompasının işletilmesi için gerekli enerji sağlanır.



Şekil 1.58. Toprak su kaynaklı ısı pompası sisteminin şeması

Buharlaştırıcıya aktarılan enerji sayesinde soğutucu akışkan buharlaşır. Soğutucu akışkan kapalı bir devre içinde ve basınç altında dolaştırılır soğutucu akışkanın basıncı arttırıldığında sıcaklığı da yüksek mertebeye ulaşacaktır. Soğutucu akışkan buharlaştırıcıdan gaz halinde çıkarak kompresöre ulaşır. Kompresörde sıkıştırılan gaz halindeki soğutucu akışkanın basıncıyla birlikte sıcaklığı da artar.

Kompresörden geçen soğutucu akışkan, yoğuşturucuya ulaştığında ısıнын büyük bir kısmını plakalı ısı değıştiricileri yardımıyla ısıtma tesisatı çevrimine aktarır. Soğuyan akışkan yoğuşur ve sıvı faza geçer. Daha sonra genleşme valfinde basıncı düşürölür ve düşük sıcaklıktaki soğutucu akışkan çevrimin başına dönmüş olur.

1.11. Sera Isıtma

Bitki yetiştirmek ve büyütmek için ihtiyaç duyulan çevre şartlarının kontrol edilebildiğı ve ışığı geçiren materyallerle örtölü yapay ortamlara sera adını vermekteyiz. Bu ortamlarda çeşitli tarımsal ürünlerin yetiştirilmesi işlemine de seracılık demekteyiz. Diğer bir ifade şekli ile iklimin elverişsiz olduğı zamanlarda, iklimin etkisinin kaldırıldığı özel yapılarda tarımsal üretim yapılmasına denir. Özellikle kış mevsimi süresince ve bitki yetiştirmeye uygun olmayan zamanlarda ihtiyacımız olan sebze, meyve ve diğer bitki türleri sera ortamlarından karşılanmaktadır. Bu haliyle ölkemiz tarımında önemli bir potansiyel oluşturmaktadır Ancak cazip bir geçim kaynağı olan seracılık, ilimizin bulunduğı Doğı Anadolu bölgesinde kışların çok soğuk geçmesi ve uzun süre devam etmesi nedeniyle olumsuz etkilenmektedir. Bu durum seracılığın kısıtlı olarak ölkemizin belirli kesimlerinde yapılmasına neden olmaktadır. İşte bu noktada seracılığın %80'nine yakın bir kısmının yapıldığı Akdeniz bölgesiyle güneş ışıınıından yararlanma bakımından yaklaşık aynı değere sahip olan bölgemizdeki kış şartlarının olumsuzluğunu ortadan kaldırmak için sera ısıtması ön plana çıkmaktadır.

Seracılıkta ısıtma problemleri serada yetiştirilen ürünlerin maliyetini doğrudan etkilemektedir. Genelde yetiştirilen ürün maliyetinin % 70 seracılıkta ısıtma giderlerine karşılık gelmektedir. Bu durum seracılık açısından oldukça önemli ve üzerinde dikkatle durulması gereken bir husustur. Ayrıca sera ısıtma uygulamaları; ürün hâsılatı, ürün kalitesi ve yetiştirme zamanı üzerinde de büyük bir etkiye sahiptir.

Seracılık potansiyelinin daha da geliştirilmesine, ancak seralarda enerji tasarruf önlemleri alınmasının yanı sıra yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla mümkün olunabilir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının ucuz, kolay bulunabilir, çevreye zararsız, değışik enerji türlerine dönüştüröllebilir olmaları seracılığı olumlu etkileyecek yönlerdir.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında olan güneş enerjisinin seracılık açısından önemi büyüktür. Güneş, bitkilerin gelişimi için gerekli olan bir unsur olmasının yanı sıra

sera ısıtmasında da önemli bir kaynaktır. Güneş enerjisi ile ısıtma, pasif ve aktif olarak iki şekilde mümkündür. Pasif ısıtma sistemi olarak adlandırılan sistemde, her hangi bir araca ihtiyaç duyulmadan doğrudan güneş ışınlarının sera içerisine gelmesiyle ısıtmak şeklinde olabildiği gibi, aktif ısıtma sistemleri olarak adlandırılan diğer sistemde ise, çeşitli şekillerde güneş enerjinin depolanması ve daha sonra ihtiyaç duyulan zamanlarda depolanan bu enerjinin kullanılması şeklinde olmaktadır. Ancak aktif ısıtma sistemlerinde çok büyük enerjinin depolama hacimlerine ihtiyaç olması ve ilk yatırım harcamalarının çok yüksek olması, güneş enerjisinden aktif olarak yararlanma oranını düşürmektedir. Dolayısıyla güneşin yanı sıra diğer ucuz, temiz ve kolay elde edilebilir yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmaktadır.

Bu aşamada özellikle depo edilebilme sıkıntısı olmadığı için toprağın kendisi önemli bir kaynak olarak görülmektedir. Doğal bir enerji deposu ve ısı kaynağı olma özelliği taşıyan toprak, ısı pompası olarak adlandırılan cihazlar aracılığı ile bünyesindeki enerjinin kullanımına imkân vermesi açısından seracılıkta oldukça iyi bir kaynaktır. Neredeyse yılın her zamanı toprağın belirli bir mesafeden sonra sıcaklığının değişmemesi bu kaynağı önemli kılmaktadır.

Tüm bunların yanı sıra sera havası şartlandırması için; ısıtma, soğutma ve nem alma gibi işlevleri yerine getirebilmek suretiyle çok fonksiyonlu çalışabilen ısı pompası sistemlerinin büyük bir kullanım potansiyeli mevcuttur. Birçok ısı operasyonda ısı pompalarının kullanılması, yüksek oranlarda enerji tasarrufu sağlaması ve gereğinden fazla enerji kullanımının önüne geçmesi sebepleriyle önemli bir potansiyele sahiptir.

Biyogaz da yenilenebilir enerji kaynakları arasında seracılık açısından etkili bir enerji kaynağıdır. Sahip olduğu yüksek ısı değeri, atıklardan ve gübrelerden kaynaklanan çevresel zararların azaltılması ve sonuçta hayvansal atıkların verimli bir gübre olarak kullanılması bu kaynağı önemli kılmaktadır. Biyogazın yakılarak ısıtmada ve jeneratörlerde yakıt olarak kullanılması sonucu elektrik üretilebilmesiyle gerek seracılıkta gerekse başka alanlarda kullanılabilen önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir.

Tezimin konusunu olan ve yenilenebilir enerji kaynaklarının küçük bir kısmını teşkil eden güneş, toprak ve biyogaz gibi kaynakların kullanılması sayesinde soğuk hava koşullarından kaynaklanan ısıtma maliyetinin önemli ölçüde azalacağı muhakkaktır. Ayrıca tükeneyeceği gerçek olan fosil kökenli kaynakların kullanımı nedeniyle oluşan kirliliğin, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı ile önemli oranda azalacak olması da ayrı bir fayda sağlayacaktır.

1.11.1. Seracılığın Yararları

Seracılığın yararlarını şu şekilde sıralayabiliriz,

- Az ekim alanından fazla miktarda ürün almak mümkündür. Dolayısıyla alanlar daha etkili bir şekilde kullanılacağı için, birim alandan alınan ürün miktarı artar.
- Pazarda tüm yıl boyunca taze ürün bulma imkânı olur.
- Hem halkın geçiminde hem de ürünlerin ihraç edilmesi yoluyla milli ekonomiye katkıda bulunulur.
- İşletmelerde çalışanlar için devamlı çalışma imkânı sağlanır.
- İklim şartları ve mücadelenin daha etkili bir şekilde uygulanması ve kontrol edilmesi, ürünün kalitesini artırır.
- Yetiştirmeye uygun devre uzatılarak, yıl içerisinde yetiştirilen ürün miktarı artar.
- Seracılıkta kullanılan cam, demir, plastik vb., bunlarla ilgili diğer sanayi ve üretim kollarının imkanları artar.

1.11.2. Seraların Kurulumu

Seracılıkta bitkilerin gelişimi, elde edilecek verim, ısıtma vb. gibi noktalar hesaba katıldığında sera kurulumu önem arz etmektedir. Bu nedenle seraların kurulumu aşamasında belirli noktalara dikkat edilmelidir. Bunlar;

- Seraların kullanılma amacı,
- İhtiyaç duyulan sera büyüklüğü,
- İklim şartları,
- Sera kurulum yerinin fizyografik ve çevreyle ilgili özellikler,
- Sera için ayrılan sermaye,
- Alet ve donanım kullanma imkânları,
- Yetiştirilecek bitki türleri ve yetiştirme tekniği,
- Sera işletmesinin gelişme planı,
- Sera sahibinin istekleri

gibi unsurlardır (URL-10, 2010).

Kurulması planlanan seradan beklenen amaç, sera tipine etki eden en önemli faktörlerden biridir. Seralar amatör amaçlı, araştırma amaçlı, yarı profesyonel amaçlı veya tam ticari amaçlı olabilirler.

Sera büyüklüğü, sera ünitelerin ayrı ayrı veya toplam alanı için işletmenin işçilik miktarı ve çeşidine bağlıdır. Eğer işletmede kullanılabilecek fazla sayıda alet ve donanım varsa, seralar daha büyük, üniteler de daha fazla sayıda planlanabilir.

İklim şartları, seracılık için en önemli unsurlardan biridir. Seranın kurulacağı yerdeki en yüksek ve en düşük sıcaklık değerleri, rüzgâr durumu, yağış şekli, yoğunluğu ve süresi, güneşlenme ve bulutlu günler sayısı ve enlem derecesi gibi çeşitli etmenler, sera tipinin seçiminde etkilidir. Bu nedenle soğuk, rüzgârlı ve kar yağışlı yerlerde seraların çatısı daha dayanıklı ve alçak, ılık yerlerde ise seraların daha yüksek tipte yapılması gereklidir. Ayrıca sera kurulması istenilen yerin topografyası, arazi eğimi, mikro klima koşulları gibi çevreyle ilgili koşullar göz önüne alınmalıdır. Aşırı meyilli arazilerde, sekileri oluşturan iki duvar arasına kurulan seraların çatısız, düz ve küçük olan arazilere kurulan seraların tek çatılı, geniş ve düz arazilere de çok çatılı seralar bu iklim ve çevre koşulları dikkate alınarak kurulmaktadır.

Maddi güç, uygulanacak sera tipinin seçiminde en önemli etmenlerden biridir. Bu noktada sermayesi yeterli olan işletmelerde ek yapım masrafı yüksek, fakat yıllık bakım masrafları daha düşük olan cam örtülü çelik veya alüminyum iskeletli sera tipleri, sermayesi yeterli olmayan işletmelerde ise ilk yapım masrafı düşük fakat yıllık bakım giderleri büyük olan plastik örtülü, ahşap iskeletli tipleri seçilebilmektedir.

Alet ve donanım kullanma imkânları açısından; küçük boyutlu seralarda sera içi tarımsal işçiliği daha çok elle yapılmaktadır. Makine kullanım oranı ve toprak işçiliğinin fazla olması, gübreleme, ilaçlama, toprak dezenfeksiyonu, ürün temizleme gibi işlerin alet ve donanım ile yapıldığı seralar ise daha büyük boyutlu olmaktadır. Aksi halde bitki üretim maliyetleri artacağı için ekonomiklik ortadan kalkacaktır.

Bitki yetiştiriciliği noktasında gelecekte serada yapılacak yetiştiricilik şeklinin değiştirilmesi ihtimali nedeniyle sera boyutları önem taşımaktadır. İleriki yıllarda yetiştirilecek ürün düşünülmeden sera kurulursa, daha sonra yapılacak değişikliğe uyum sağlamada zorluk çekilebilir veya değişiklik yapmak olanaksız olabilir. Yalnız alçak boylu bitkilerin yetiştirileceği basit bir serada, uzun boylu bitkiler yetiştirilemez. Buradan yola çıkılarak gelecekte başka bitkilerin yetiştirilebileceği seraların tip ve boyutları

yetiştirilecek bu bitkiler için uygun olmalıdır. Her ihtimali hesaba katarak seranın zamanla büyütülmesi düşünülebilir. Bu sebeple en az maliyetle yapılabilecek değişikliğe sera tipinin seçiminde planlama ve konumunda zamanla oluşacak bu büyüme ve gelişme göz önünde tutulmalıdır.

Seranın görünümünde ve tipinin seçiminde sera sahibinin istekleri oldukça etkilidir. Ancak estetik görünüm, kullanışlılık ve faydalılık ile birleştiği zaman bir anlam taşır. Ülkemizde yetiştiriciler ihtiyaçlara uyacak bir sera seçimi yerine, genellikle yakın çevrede görüp beğendikleri bir sera tipinin aynısının yapılmasını isterler. Bu noktada seradan istenilen verim alınamayabilir. Aynı zamanda maliyet açısından da kayıplar söz konusu olabilir.

1.12. Seraların Sınıflandırılması

1.12.1. Büyüklüğüne Göre Sera Tipleri

Seranın büyüklüğü taban alanının genişliği ve uzunluğu ile tanımlanır. Bu iki boyutun çarpımı, taban alanını verir. Büyüklük verilirken uzunluk ve genişliğin birbirine uyumlu olması gerekir. Dar ve kısa olan seralarda, dar ve kısa boyutlara paralel bitki sıraları kullanılır. Burada yetiştirilen bitkiler, kritik çevre koşullarının olumsuz etkilerinden zarar görür. Aynı büyüklükte taban alanına sahip, fazla sayıda kısa seralar yerine, uygun boyutlara sahip bir sera planlanması yapılırsa bitki yetiştirilmesi için ekolojik koşullar daha kolay yaratılabilir. İlk yapı maliyeti ve yıllık ısıtma giderlerinden de tasarruf sağlanmış olur (MEGEP, 2007).

1.12.2. Orta Yastık Durumuna Göre Seralar

Orta yastık durumuna göre seralar;

- Orta yastıksız seralar
- Orta yastıklı seralar

olmak üzere iki gruba ayrılır.

Orta yastıksız seralarda yaklaşık 80 cm kadar genişlikteki orta yolun sağında ve solunda olacak şekilde tercihen 110 cm genişliklerinde birer ekim yastığı bulunur. Bu yastıklar çoğu kez çelik üretimi ve aşılar için kullanılır.

Orta yastıklı seralarda ise iki tarafta mevcut olan yastıkların arasındaki orta kısımda tercihen 220 cm genişliği ile bir orta yastık bulunur. Bu sera tipleri orta yastıksızlara göre daha geniştirler. Bir serada hem üretme ve hem de yetiştirme yapılıyorsa, orta yastık üretim için, yan kısımdaki yastıklar da saksıya, kaba veya tüpe alınan fidan ve aşıları yetiştirmek için kullanılır. Orta yastıklar bu seralarda daha sıcak olmaktadır.

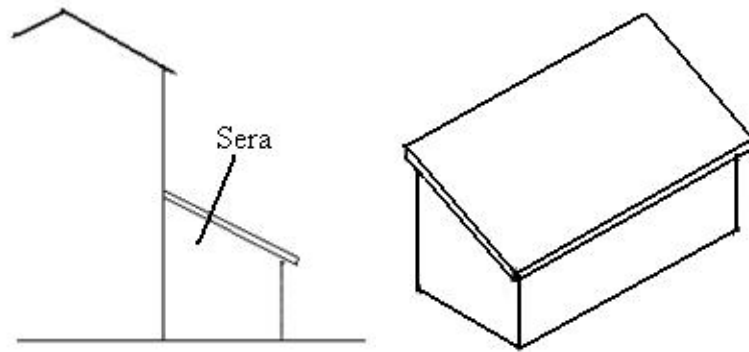
1.12.3. Çatı ve Kuruluş Şekillerine Göre Seralar

Çatı ve kuruluş şekillerine göre seraları aşağıdaki gruplar altında toplamak mümkündür. Bunlar;

- Çatısız seralar,
- Tek çatılı seralar,
- İki çatılı seralar,
- M çatılı seralar,
- Blok seralar

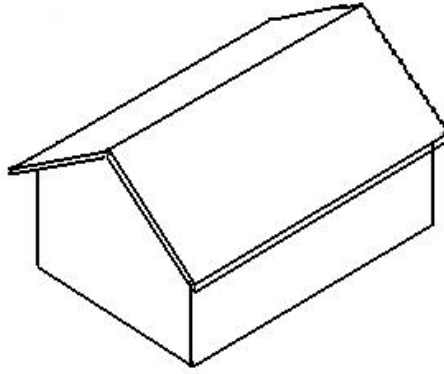
olarak sıralanabilir.

Çatısız tip seralar, aşırı meyilli arazi türlerinde oluşturulan şekillerde iki duvar arasına kurulan ve çatısı olmayan sera türüdür.



Şekil 1.59. Tek çatılı sera görünümü

Şekil 1. 59’da görüldüğü gibi genelde bir binanın veya bir duvarın güneye bakan tarafına dayalı şekilde kurulan tek meyilli ve dolayısıyla tek yüzeyli sera tipleri tek çatılı seralar olarak adlandırılır. Bunun yanı sıra bir kenarı bir yere dayanmadan kurulan tek çatılı sera tipleri de mevcuttur. Bu çatı tipi meyilli yerler için de söz konusu olabilmektedir. Çatı eğimi güneye baktığından güneş ışınlarından ve sıcaklığından yüksek oranda faydalanılır. Amatör seralardır, ucuza tesis edilebilirler.



Şekil 1.60. İki çatılı sera görünümü

İki çatılı seralarda, şekil 1.60’da görüldüğü gibi sera çatısının iki yüzü birbirine eşit ise "ikizkenar çatılı seralar" şeklinde adlandırılır. Çatının biri uzun diğeri kısa ise "iki çatı kenarı eşit olmayan seralar" söz konusudur. Meyilli arazilerde de bu tip sera kuruluşlarına sıkça başvurulur. İki çatılı seralar daha iyi ışık alırlar. M çatılı seralarda ise yan yana gelen blok seralar söz konusudur. Bunlar ikizkenar veya iki kenarı eşit olmayan çatılı seraların yan yana gelmesinden oluşmaktadır.

Birbirlerine ekli olacak şekilde kurulan sera tiplerine blok seralar denilmektedir. Bitişik halde kuruldukları için tesis giderleri daha azdır. Aynı tür bitki yetiştirme söz konusu ise aralarında ara duvar gerekmez. Fakat her blok için ayrı bir türün yetiştirilmesi öngörülüyor ise her türe uygun farklı ekolojik koşullar oluşturmak için blokların arasına perdeler yerleştirilerek birbirinden ayırmak gerekir.

1.12.4. Sıcaklıklarına Göre Seralar

Sera içi sıcaklığına göre seraları; sıcak, ılık ve soğuk olarak gruplara ayırmak mümkündür. Sıcak seraların ortalama iç sıcaklığı 20-24 °C arasında bulunur.

Sıcaklık 18°C'nin altına düşmez. Bu seralarda sıcaktan hoşlanan bitkiler yetiştirilir.

Ilık seralarda, sıcaklık 10-20 °C arasındadır.

Soğuk seralarda herhangi bir ısıtma yapılmaz, genellikle sera sıcaklığı 0-10 °C arasındadır; bu nedenle bu tip seralar ancak iklimi uygun olan ılıman bölgelerde yetiştirme amacıyla kullanılabilir.

1.12.5. İskelet Malzemelerine Göre Seralar

Seralar, kurulum şekilleri itibari ile bir temel üzerine kurulan iskelet ve onun üzerine çeşitli şekillerde monte edilen örtüden ibarettir. Seralar; ahşap, demir, beton, alüminyum malzemeden inşa edilebilirler. Kullanılan iskelet malzemelerinin bazı özelliklere sahip olması gereklidir. Bunları ana hatları ile şu şekilde sıralayabiliriz;

- İskelet elemanları sağlam, ucuz ve hafif olmalıdır. Aynı zamanda kolay kurulabilmelidir.
- Ahşap malzeme hafif ve dayanıklı olması, kolay işlenmesi, çivilenmesi ve vidalanması gibi iyi özelliklere sahiptir. Ayrıca hem çekmeye, hem de basınca dayanıklı olması gibi üstünlükleri vardır. Ama ağaç malzeme kısa zamanda deforme olur. Ahşaptan inşa edilen sera iskeletleri çabuk çürür, bu sebeple ömürlerini uzatmak için sık sık boyamak gerekir. Sıcak yörelerde kurulan seralarda ahşap iskelet malzemesi olarak kamış da kullanılabilir.
- Seralar daha dayanıklı ve uzun ömürlü olmaları için demir malzemelerden yapılabilirler. I profil, T profil, L profil, kutu profil, boru profil ve çelik levha şeklinde olabilirler. Birçok üstünlüğe sahip olmaları yanında, paslanmaları en önemli sakıncalarıdır. Antipas boya ile boyanmaları sonucunda paslanmanın önüne geçilerek uzun ömürlü olmalarına yardımcı olunur. Son yıllarda galvanize edilmiş veya galvaniz borularından oluşan sera iskeletleri de kullanılarak bu sakınca ortadan kaldırılmaktadır.
- Sera inşasında az miktarda da olsa beton iskeletler kullanılabilir. Ancak beton malzeme genellikle temel ve duvarların inşasında tercih edilmektedir.
- Seranın ışık ihtiyacını engellemek için alüminyum veya hafif metal iskeletler kullanılmaktadır. Bu malzemeler hafif, sağlam ve uzun ömürlüdürler.

- Sera iskeleti sadece ahşap veya sadece demir olabildiği gibi çeşitli malzemelerden kombine olarak da yapılabilir.
- Hava geçirgenliği yani ısı kaybı az olmalıdır.

Tablo 1.15. İnşaat faktörü (f_c)

Sera Tipleri	İnşaat faktörü (f_c)
Tümü metal, sıkı camlı, bindirmeli,	1.08
Kimi yerlerde gevşek camlı	1.15 – 1.20
Ağaç çerçeve, çelik oluklu, sıkı konstrüksiyon	1.05
Ağaç çubuklu, havalandırılmalı vb., iyi, sıkı sızdırmazlı	1.00
Orta seviyede	1.10
Gevşek fittings	1.20 – 1.30
Fiberglas contalı	0.95
Sızdırmaz contalı	0.90 – 0.95
Çift katlı akrilik veya polikarbon	0.90

Seralardaki ısı kaybını belirlerken inşaat faktörü (f_c) olarak adlandırılan değer sera inşaatın kalitesi, inşası gibi faktörleri içerir. Sera çatısının yapım özellikleri, çatının eğimi, seradan hava sızıntısı gibi unsurlar sera ısı gereksinimleri için dikkate alınması gereken özelliklerdir. Çeşitli sera tipleri için tablo 1.15’de inşaat faktörü değerleri görülmektedir.

1.12.6. Örtü Malzemesine Göre Seralar

Seralar yağmur, kar ve rüzgâr gibi dış etkenlerden koruyarak sera içinden ısı kaybını azaltan ve ışığı olanaklar ölçüsünde sera içine fazla geçiren saydam bir malzemeyle tüm yüzeyleri kaplanır. Tablo 1.16’de bazı sera malzemeleri için ısı direnç değerleri görülmektedir. Sera kaplama malzemesi cam veya plastiktir. Seranın tüm duvarları da bu malzeme ile kaplanır

İskelet üzerine örtülen bu örtü materyallerinin bazı özelliklere sahip olması gereklidir. Bunlar;

Tablo 1.16. Sera inşaatı malzeme termal dirençleri

Malzeme		Kalınlık	RSI değerleri ($\frac{m^2 \square}{w}$)
Cam	Tek Cam	3	0.15
	Çift Cam (6mm hava boşluklu)		0.27
	Fiberglas		0.16
	Plastik	0.15	0.14
	Çift Akrilik veya Polikarbonat	6 - 12	0.30 – 0.35
	Hava Boşluklu Çift Katlı Naylon		0.25 – 0.28
İnşaat Malzemeleri	Asbestos Çimento	6	0.16
	Ağaç	25	0.30
	Beton	100	0.20
		150	0.23
Beton Blok		200	0.35
	İzolasyonlu Rijid Polystrene	25	0.88
	Polietilen Foam	25	1.10

RSI, inşa materyalinin metrik sistemde termal direnci olarak bilinir.

- Güneş ışınlarını rahatlıkla geçirebilecek nitelikte olmalı, yansıtma, emme ve iletme gibi olaylarla ışık kaybına neden olmamalıdır,
- Işık geçirgenliğini zamanla kaybetmeyen özelliğe sahip olmalı,
- Sıcaklığı tutmalı,
- Hafif ve ucuz olmalı,
- Montajı kolaylıkla yapılabilmesi,
- Dayanıklı ve uzun ömürlü olmalı,
- Herhangi bir nedenle bozulma ortaya çıktığında kolay değiştirilebilmelidir,
- Yıkılarak kolaylıkla temizlenebilir olmalıdır.

Seralarda örtü materyali olarak;

- Cam,
- Yumuşak plastik,
- Sert plastik,
- Fiber malzemeler

kullanılabilir.

1.12.6.1.Cam

Işık geçirgenliği en fazla olan malzeme camdır. Ancak kurulacak iskelet ahşap ise cam örtü kullanmak uygun değildir. Cam örtü, kırılğan olduğu ve esnemeleri karşılayamadığı için iskeletin metal olması gerekir. Camın genleşme durumunu göz ardı etmemek gerekir. Cam örtü malzemesi aşağıda belirtilen avantajlara sahiptir;

- Uzun süre kullanılabilirler,
- Işık geçirgenliği yüksektir,
- Kolay temizlenir ve bakım masrafı yoktur,
- Cam seralarda verim, plastik örtülü seralara göre daha yüksektir,
- Mor ötesi (ultraviyole) ışınlarından etkilenmez,
- Kolay kirlenmedikleri için ışık geçirgenlikleri azalmaz,
- Camlarda buğulanma ve nemlenme olmadığından, bitkilerin üzerine su damlaları gelerek bitkilerin hastalanması önlenir.

Seralarda ısı yalıtımı arttırmak için plastik ve cam örtüler birlikte kullanılabilir. Bu şekilde ısı yalıtımı ile sera içinde %40'a varan enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Ancak çift malzeme kullanma ile seraya giren ışık miktarı tek cama göre %10, ikinci kat olarak plastik kullanılmasında yoğunlaşma suyu ile birlikte bu oran %20 değerinde azalmaktadır.

Cam örtü malzemesi pahalıdır ve işçiliği zordur. Maliyeti düşürmek için bir yüzü düz öteki yüzü dalgalı olan mat cam yani buzlu cam kullanılabilir. Parlak camdan yarı yarıya ucuzdur. Düz yüzü dışa dalgalı yüzü içe getirilir. Güneş ışınları rahatça sera içine girer, pürüzlü yüz ışınları yansıtarak seradan çıkmasını engeller.

1.12.6.2.Plastik

Ahşap iskeletli seralarda plastik örtü daha uygundur. Bunun yanı sıra plastik örtü metal iskelete doğrudan gerildiği takdirde rüzgâr nedeniyle daha çabuk yırtılır. Bunun önüne geçmek için metal yüzey plastikle kaplanabileceği gibi iskelete temas yerleri ahşapla veya sert plastikle takviye edilerek de plastik örtü geçirilebilir. Plastik örtü pürüzsüz yüzeyli iskelet üzerine önce gerginleştirilip bindirilerek ve ince ahşap çıtalarla çivilenerek tutturulur. Çivileme yerine bazı sert plastik, alüminyum veya çelikten yapılan

kıskaç ya da mandal kullanılarak yapılabilir. Plastik örtü malzemeleri aşağıda belirtilen avantajlara sahiptir;

- Plastikler vurma ve çarpmalara karşı duyarlı değildir,
- Paslanmazlar,
- Ucuzdurlar,
- İşletme özelliği iyidir,
- Kolay temizlenir ve saklanabilirler,
- Kimyasal maddelere, özellikle asitlere karşı dayanıklıdır,
- Güneş ışığını iyi geçirirler,
- Renklendirme özellikleri iyidir,
- Biyolojik zararlardan etkilenmezler,
- İstenen şekilde ve kolaylıkla iskeleti kapatması, şekil vermesi mümkündür ve kolaylıkla montajları yapılabilir,
- Hafiftirler,
- Çift kat kullanıldığından daha da iyi koruyucu olurlar,
- Tesis giderleri ucuzdur.

Plastik örtülerin yukarıda sayılan avantajlı yanlarına rağmen, sakıncalı yanlarını da aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür;

- Ömürleri kısadır. Genellikle plastikler fiziksel ve mekanik etkilere karşı dayanıksızdırlar. Plastik örtü materyalinin, bitkilerde renk oluşumu ve büyümeyi engelleyen, onların cüce kalmalarına neden olan ultraviyole (kısa dalga) ışınları geçirme niteliği, cama kıyasla çok daha fazladır. Bu sakınca son yıllarda plastiğin bileşimine, ultraviyole ışınların etkisini azaltan bazı katkı maddeleri ilavesi ile giderilmeye çalışılmıştır.
- Plastiklerde ışık geçirgenliği son yıllarda geliştirilerek cam gibi hatta daha yüksek ışık geçirgenliği sağlanabilmiştir. Camda ışık geçirgenliği %89-92 olmasına karşılık son yıllarda üretilen plastiklerin geçirgenliği %85 ile 89'dur. Bu değer %92-95'e kadar çıkarılabilmektedir. Ancak plastik zamanla kirlenme ve yıpranma nedeni ile ışık geçirgenliğinde büyük düşmelere sebep olur ve bu geçirgenlik %62-65'e kadar inebilir. Plastikler yıkandıklarında cam gibi temizlenemezler. Tozlar plastik üzerine elektriksel yük ile bağlanır. Kirlilik tam olarak temizlenemez.

- Yüksek sıcaklıkta plastiğin şeklinde değişiklik olur ve soğukta da büzüşme yapar. Son zamanlarda bazı ilave maddelerle bu kusur da bir ölçüde azaltılabilmektedir.
- Plastik örtülü seralar yeterince havalandırılmazlar ise bunlarda hava boşlukları yok denecek kadar az olduğundan cam seraya kıyasla çok fazla nem tutarlar ve bu fazla nem de sakınca yaratır.

1.13. Sera Planlamasında Etkili Çevre Koşulları

Seralarda verimin daha yüksek, ürün niteliğinin daha iyi ve aynı zamanda ürünün gelişme ve olgunlaşma süresinin daha kısa olması için ekonomik koşullar dikkate alınarak sera planlayıcısı bitkilerin isteklerine göre çevre etmenlerini uygun hale getirmesi gerekir. Bu amaçla bir seranın planlamasında etkin olan çevre koşullarını şu şekilde sıralayabiliriz;

- Işık
- Yön,
- Sıcaklık,
- Nem,
- Toprak,
- Hava ve karbondioksit,
- Diğer Etmenler.

1.13.1. Işık

Işık, seracılıkta en önemli öğelerden biridir, yeşil bitkilerin gelişimi için temel faktördür. Fotosentez için bitkiler ışığa ihtiyaç duymaktadır. Bitkiler, ancak ışık enerjisi olduğu zaman havadaki karbondioksit ile bünyelerindeki suyu birleştirerek karbonhidratların oluşumunu sağlar. Fotosentez sırasındaki ışık, bitki hücresinde bulunan klorofilin enerji düzeyini yükseltir. Yeterli düzeyde gelen ışık enerjisi, klorofildeki depolanan enerjiyi ve dolayısıyla da fotosentezi arttırarak bitki büyümesini hızlandırır. Ancak bitkiye ulaşan ışık enerjisi ile bitki büyümesi arasında doğrusal bir ilişki yoktur.

Bitkilerin gelişimi için bazen eksik olan ışık enerjisi yapay aydınlatma yapılarak bitki gelişimine yardımcı olunur.

Bitkilerin gelişmesinde ışık rengi, yoğunluğu, günlük ışıklanma periyodu ve gelişme süresince toplam ışıklanma süresi önemlidir. Gündüzleri seraların ışık kaynağı güneştir ve güneşten gelen ışınların dalga boyları ve ışık renkleri farklı farklıdır. Görülebilir ışık ışınlarını ve görevlerini şu şekilde sıralayabiliriz;

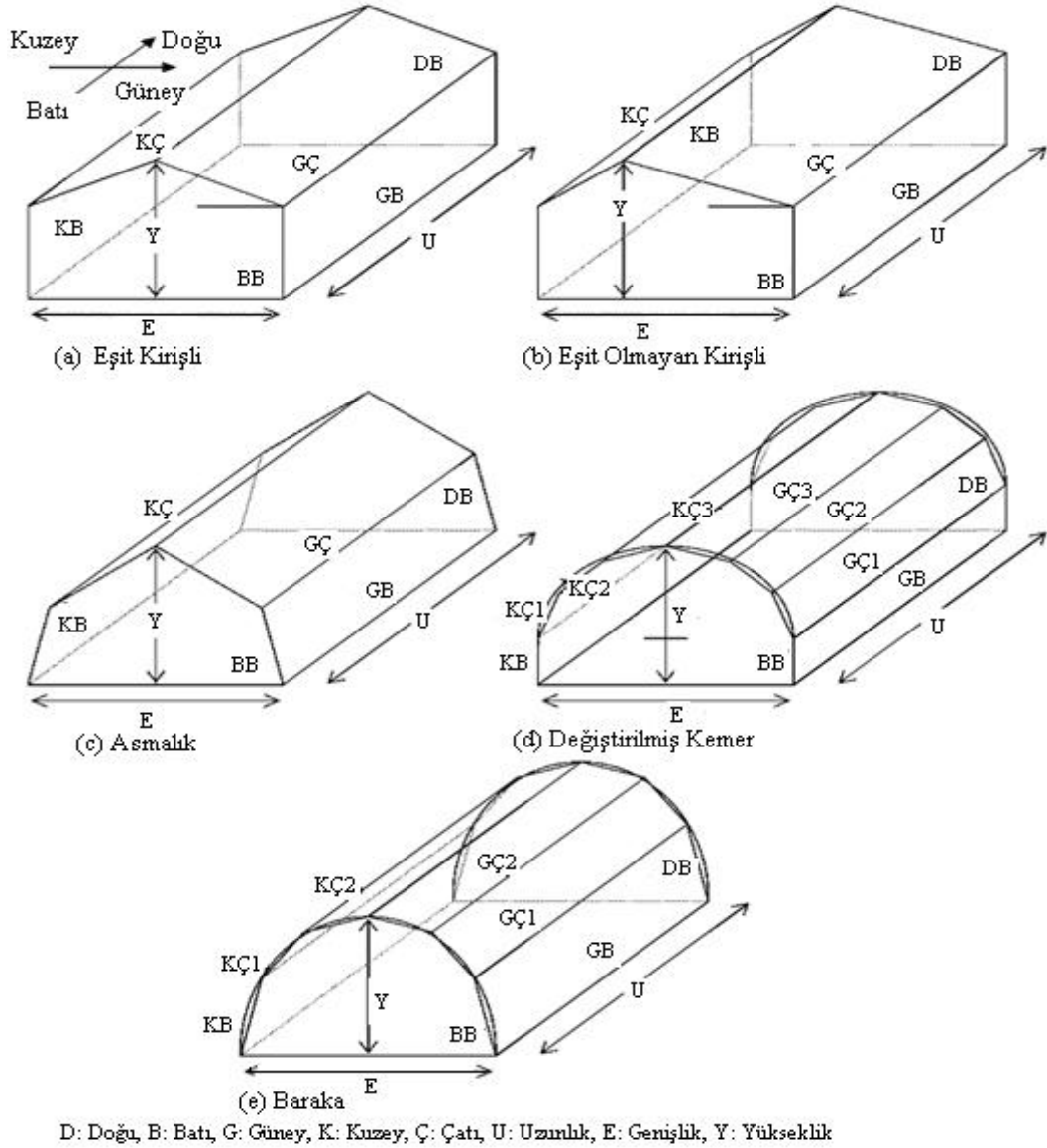
- Mavi ışık bitkilerin fazla boylanarak gelişmesini sağlar.
- Kırmızı ışık tohumların çimlenmesini ve gelişmesini hızlandırır. Ayrıca çiçeklenme kırmızı ışıkla hızlanır.
- Yeşil ışık; bitki büyümesini olumsuz olarak etkiler.
- Güneş ışığıyla gelen ışınların yaklaşık % 50 kızılötesi ışınlardır. Bu ışınlar, ısı oluştururlar (URL-10, 2010).

1.13.2. Yön

Işık kadar sera içindeki bitki yönleri ve beraberinde sera yönü de bitkilerin gelişmesinde etkili olmaktadır. Bitkilerin sera içerisinde dengeli büyüme ve gelişmeleri için seraların ve sera içindeki bitki sıralarının yönlendirilmesi gerekir. Bitki sıralarının birbirlerine gölge yapmamaları ve dengeli bir şekilde ışıktan yararlanmaları için kuzey-güney doğrultusunda, seranın da doğu-batı yönünde yerleştirilmesi gerekir (Megep, 2007). Işıklanmanın daha iyi olması için;

- Seralar özellikle kışın en iyi şekilde ısınmaları için doğu - batı doğrultusunda yerleştirilmelidir,
- Blok halinde kurulan seralar ise kuzey güney doğrultusunda yönlendirilmelidir,
- Seralar birbirini gölgelememelidir,
- Seralar kurulurken kesit yüzeyi mümkün olduğunca ince olan kiriş ve kolon gibi yapı elemanlarından inşa edilmelidir,
- Işığın yeterli olmadığı yerlerde daha iyi bitki gelişimi için yapay ışıklandırma yoluna gidilebilir.

Özellikle kış ayları dışındaki aylarda ve öğle saatlerinde yükselen sera içi sıcaklıklarının düşürülmesinin sorun olduğu bölgelerde seralar kuzey-güney yönünde kurulabilir. Seranın kuruluşu hangi yönde olursa olsun bitki sıralarının kuzey -güney yönünde olması gereklidir.



Şekil 1.61. Doğu-batı yönlü çeşitli sera görüşleri (Sethi, 2009)

Sethi (2009), şekil 1.61’de görülen doğu-batı yönlü çeşitli şekillerdeki seralarda, sera yönü ve şekli üzerine yapmış olduğu çalışmada doğu-batı yönlü ve eşit kirişli çatı şekline sahip seraların, kışın daha fazla ve yazın daha az güneş ışınlamı aldığını belirtmiştir. Eşit kiriş mesafeli ve baraka tipi seraların tarım için daha uygun olduğunu ifade etmiştir.

1.13.3. Sıcaklık

Sera içinde arzu edilen sıcaklığın elde edilmesinde, çevre sıcaklığı önemlidir. Ülkemizde seracılığı kısıtlayan en önemli etken sıcaklıktır ve seracılıkta en önemli

sorundur. Bitkiler için en uygun sıcaklık, sera içerisinde soğuk günlerde en az 15 °C, güneşli ve sıcak günlerde ise en çok 30 °C olmalıdır. 35 °C'nin üzerindeki sıcaklıklar ise fotosentez mekanizmasının hasara uğramasına neden olur. Sera toprak sıcaklığının da belirli bir sınır altına düşmesi bitki gelişmesini durdurur. Sera içi sıcaklığının en yüksek sıcaklığı aşmasıyla, bitkilerde özümleme durmaktadır. Sera bitkilerinin sıcaklık istekleri farklı olacağı için, çeşit seçimi yapılırken bu durumların da göz önünde tutulması yetiştiricilik açısından yararlı olacaktır.

Bitkiler, fide döneminde bol ışıklı ve serin yerlerde bulunmalıdırlar. Bitkilerin en iyi büyümeyi 12-30 °C arasında göstermektedirler. 12 °C altında polen tozlarının çimlenme gücü azalmaktadır. 0 °C altında ise bitkiler donmaktadır (Yüksel,1989; Yüksel vd, 1993). Toros ve Başçetinçelik'in ifadelerinde, bitkilerin fizyolojik olaylarına ilişkin yapılan çalışmalarda bitkiye göre değişmekle birlikte en iyi gelişmenin 20-25 °C ortam sıcaklığında olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda tablo 1.17'de Yağcıoğlu yaptığı çalışmada bazı bitkilerin yetiştirme devrelerinde istedikleri optimum sıcaklıkları belirtmiştir (Günhan, 1998).

Tablo 1.17. Bazı bitkilerin yetiştirme devrelerinde istedikleri optimum sıcaklıklar (Günhan, 1998)

Bitki	Sıcaklık İsteği (°C)	Bitki	Sıcaklık İsteği (°C)
Domates	16.0-19.0	Bakla	10.0-14.0
Hıyar	18.0-30.0	Havuç	15.5-21.0
Patlıcan	15.0-35.0	Kereviz	15.0-21.0
Biber	15.5-21.1	Kavun	15.0
Fasulye	15.5-21.0	Karpuz	12.0-15.0
Kabak	16.0-25.0	Karnabahar	10.0-24.0
Bamya	16.0	Lahana	15.5-21.5
Kuşkonmaz	16.0-24.0	Ispanak	10.0-18.0
Bezelye	12.5-18.0		

Başçetinçelik ve Öztürk'ün çalışmalarında belirttikleri gibi tablo 1.18'da seralarda yetiştirilen bazı sebzeler için en uygun iç ortam sıcaklıkları görülmektedir (Günhan, 1998).

Isıtma için, güneş enerjisinden en iyi şekilde yararlanacak sera tipinin geliştirilmesi gerekmektedir. Seralar soğuk mevsimlerde ısıtılmalı, sıcak mevsimlerde ise

soğutulmalıdır. Soğuk günlerde sera dışındaki toprak sıcaklığının daha düşük olması seranın dış duvarlarına en yakın bitki sıralarının soğuktan zarar görmesine neden olabilir. Bu durum seranın dış drenaj sisteminin yapılması ile engellenebilir.

Tablo 1.18. Seralarda yetiştirilen bazı sebzeler için en uygun iç ortam sıcaklıkları (Günhan, 1998)

Sebzeler	En Uygun Hava Sıcaklığı (°C)					
	Çimlenme	Gelişme Döneminde		Hasat Döneminde		Genç Bitkiler
		Gündüz	Gece	Gündüz	Gece	
Hıyar	17-18	22-25	17-18	25-30	18-20	13-15
Kavun	17-18	22-25	17-18	25-30	18-20	13-15
Karpuz	17-18	22-25	17-18	25-30	18-20	13-15
Domates	10-12	20-22	10-13	22-28	15-17	8-10
Biber	10-12	20-22	10-13	22-28	15-17	8-10
Fasulye	10-12	20-22	10-13	22-28	15-17	8-10

1.13.4. Nem

Sera havasındaki belirli orandaki nem, bitki gelişmesinde olumlu etkiye sahiptir. Sera toprağının, bitkilerin ihtiyaçlarına göre sulanması gerekir. Bitkilerin sulamayla sera içindeki havanın nem oranı artmaktadır. Yapılan havalandırma sonucunda ise sera içindeki havanın nem oranı da düşmektedir. Dolayısıyla nem miktarı, çeşitli yöntemlerle tekrar normal düzeyine yükseltilmelidir.

Seradaki havanın nem oranının en uygun sınırları, yetiştirilen bitki türüne, seranın sıcaklığına, ışıklandırma yoğunluğuna ve özümleme hızına bağlı olarak değişir. Oransal nemin çok düşük olması bitki büyümesi ve gelişmesini geriletmesi yanında, çok yüksek nem oranı da sera örtüsünün iç yüzeyinde yoğunlaşır. Yoğunlaşan nemin bitkiler üzerine damlaması bitkilerin hastalanmasına da neden olur. Genellikle % 90 civarındaki nem miktarı hastalıkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Günhan (1998) çalışmasında belirttiği gibi; Bailey sera ikliması ile ilgili yapmış olduğu derlemede, %60-90 arasında bağıl nem oranlarının bitki gelişmesi üzerine çok az etkisi olduğunu ve Başçetinçelik ile Öztürk'ün çalışmalarında normal bitki gelişmesi için, sera havası bağıl nem oranının %50-

80 arasında olması gerektiğini ifade etmişlerdir. Benli (2006), bazı bitkiler için nem sınırlarını şu şekilde belirtmiştir. Domates %60-70, patlıcan %60-70, biber %70-75 ve hıyar %70-80'dir.

Ayrıca yüksek hava nemi, bitkiler için zararlı mikroorganizmaların gelişmesi için uygun ortam oluşturur ve mantar hastalıklarının çıkmasına neden olur.

1.13.5. Toprak

Seralar, yoğun tarım yapılan yerler olduğu için toprağın kaliteli olmasına dikkat edilmelidir. Sera toprakları için kumlu, tınlı, humuslu, besin maddelerince zengin, su tutma yetenekleri iyi, drenaj, taşlılık, sıg olma sorunu olmayan topraklar tercih edilmelidir. Sera yapılacak toprak gevşek olmalıdır. Ancak saksı bitkisi yetiştirilecek ise o zaman toprak, nem teşkil etmez. Sera kurulacak yerde, drenajın iyi olmasına özen gösterilmelidir. Taban suyu seviyesi en az 1 m derinlikte olmalıdır. Taban suyu yüksek yerler; toprağın soğuk kalmasına, havasızlığa ve bitkilerin köklerinin hastalanmasına neden olabilmektedir.

1.13.6. Hava ve Karbondioksit

Oksijen bitkilerin solunumu için; karbondioksit ise bitkilerin özümleme yapmaları için gereklidir. Seralarda havalandırma yapılmazsa sera içinde gece CO₂ artar ve gündüz azalır.

Serada CO₂ oranını yapay yollarla artırmak CO₂ gübrelemesiyle olabilir. CO₂ gübrelemesi en kolay olarak sera içinde organik gübre kullanılmakla olur. Organik gübrenin sera toprağında parçalanması ile ortaya çıkan CO₂ sera havasının CO₂ oranını yükseltir. CO₂ gübrelemesinin başarısı, sera içi sıcaklık derecesi ve seranın ışıklanma yoğunluğuna bağlıdır.

Sera içinde gece CO₂ artar. Fakat sabahları güneş ışıkları ile bitkilerde başlayan özümleme sonucunda, sera içinde CO₂ normal havadaki altına düşer. CO₂ oranının azalması özümlemenin de yavaşlamasına neden olur. Bunun için ya serada havalandırma ile serada CO₂ oranı yükseltilmeli, ya da CO₂ gübrelemesi yapılmalıdır. Bu noktada

havalandırma önem kazandığı için seralar kurulurken kapı ve pencerelerin yerleri ve ebatları da önem kazanmaktadır.

1.13.7. Diğer Etmenler

Enerji açısından seranın kurulacağı yerde, sürekli ve ucuz olarak kullanılabilecek bir enerji kaynağı olmalıdır. Bu enerji kaynağı seranın ısıtılmasında kullanılabileceği gibi, serada çalıştırılacak araç ve gereçler için de gereklidir. Enerji olarak; elektrik, jeotermal enerji, güneş enerjisi, doğalgaz, kömür, kalorifer yakıtları kullanılabilir.

Ulaşım ve pazar açısından seralar, yola ve büyük tüketim merkezlerine ve ulaşım yollarına yakın olmalıdır. Seralarda üretilen ürünler; çok taze, hassas ve su oranı fazla olan ürünler olduğundan yolda taşıma anında zarar görmemeleri için ulaşım yollarına yakın olmalıdır. Ayrıca serada kullanılacak malzemelerin seraya taşınabilmesi için de seranın yola yakın olmasında fayda vardır.

İşçi açısından, serada yapacak işlerden anlayan işçilerin yakın civarda bulunması seracılıkta maliyeti düşüren etmenlerdendir.

Su açısından, sera kurulan yerde yetiştirilecek bitkilerin su gereksinimlerini karşılamak, sıcak günlerde serayı nemlendirmek veya soğutmak için sera kurulan yerde su bulunması gereklidir. Hasat edilmiş ve kirli olan sebzelerin pazara gönderilmeden önce yıkanması, seradan kullanılan tarımsal ilaçların sulandırılması ve kirli olan sera örtüsünün yıkanması için de suya ihtiyaç vardır.

Gübre açısından, seralarda çiftlik gübresine fazlaca ihtiyaç vardır. Çiftlik gübresinin sağlanacağı yerler daha önceden belirlenmelidir.

Tablo 1.19. Rüzgâr veya ışın faktörü (f_w)

Rüzgar hızı (km/h)	Rüzgâr veya ışın faktörü (f_w)
25'den az	1.00
30	1.03
40	1.08
50	1.13
60	1.18
70	1.22

Tablo 1.20. 2009-2010 yılında ay içerisindeki en yüksek rüzgâr hızları (km/h)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Rüzgâr Hızı 2009 Yılı	13.0	19.8	21.0	17.2	12.8	23.5	16.0	12.2	17.1	17.3	21.2	13.0
Rüzgâr Hızı 2010 Yılı	21.8	22.7	15.0	20.8	19.9	15.2	11.9					

Rüzgâr açısından, sera kurulacak yerlerde ortalama rüzgâr hızının ve yönünün bilinmesi gerekir. Rüzgâr hızına göre, seraya gelen yükün bilinmesi ve rüzgârla kaybolacak ısıнын hesaba katılması gerekir. Tablo 1.19’da seradan ısı kaybı hesabında kullanılan rüzgâr hızına göre rüzgâr veya ışın faktörü katsayıları görülmektedir. Burada 10 km/h’lik rüzgâr hızındaki artış, rüzgâr veya ışın faktörü (f_w) katsayı değeriinde 0.05’lik bir miktarda artışa neden olmaktadır. Bu durum seradan daha fazla ısı kaybı anlamına gelmektedir. Tablo 1.20’de Elazığ 2009-2010 yıllarında ay içerisinde rüzgârın en kuvvetli estiği hız verilmiştir. Isı kayıp hesaplamalarında rüzgâr hızı 25 km/h ulaştığı kabul edilerek hesap işlemleri yapılır.

Sera olarak kurulacak yerin eğimi az olmalıdır. Plastik sera malzemelerinden imal edilen seralar eğimli arazilerde de kurulabilirler.

Endüstri bölgeleri açısından, hava kirliliği seraların kirlenmesini hızlandırdığı için endüstri bölgelerine uzakta kurulmalıdır.

1.14. Seraların Isıtılması ve Soğutulması

1.14.1. Seraların Isıtılması

Sera ısıtmasında, en önemlisi ısıнын sera içinde dengeli olarak dağılmasıdır. Sera ısıtma sisteminin özellikleri;

- Sistem, dış hava sıcaklığına bağlı olmadan sera içi sıcaklığını istenilen sınırlar içinde tutabilmeli,
- Isı sera içinde dengeli olarak dağılmalı,

- Sık arızalanmamalı,
- Kolay yakıt sağlanabilmeli,
- Verimli çalıştırılabilmeli,
- Maliyet ve yakıt masrafları az olmalıdır.

Seraların örtü malzemesi olan cam ve plastiğin ısı geçirme özelliğinin yüksek olması nedeniyle seralar çabuk ısınır ve çabuk soğurlar. Serada bitkinin iyi bir şekilde gelişebilmesi için seranın sıcaklığı düştüğü zaman sera içine ısı verilmesi gerekmektedir. Seraya verilecek ısı miktarı;

- Sera dışındaki hava sıcaklığına,
- Sera içinde istenilen sıcaklık derecesine,
- Seranın dış yüzeylerinin toplam alanına,
- Sera örtü malzemesinin tipine ve kat sayısına,
- Seranın yapı kalitesine bağlı olarak değişir.

Seraların bulunduğu yerde çevre sıcaklığının en düşük olduğu zamanlarda, sera içinin istenilen sıcaklık derecesinde (15-25 °C) tutulabilmesi için seranın ısıtılması gerekir. Bu şekilde ısıtma fazla pahalı olacağından sera içi sıcaklığı bir süre 7-10 °C' de tutulabilir. Bu sıcaklık derecelerinde bitkilerin gelişme hızı yavaşlasa bile, bitki yetiştiriciliği yönünden sakıncalı sayılmayabilir.

Sistem tanımlama faktörü (f_s), seralarda ısı kaybı hesabı yapılırken ısıtma sistemlerinin sera içerisine yerleştirme uygulamaları ile ilgili özellikleri kapsamaktadır. Tablo 1.21'de görüldüğü gibi, ısı kaybını azaltmak amacıyla ısıtma sisteminin toprağa veya sera duvarına yakın olarak yerleştirildiği durumlar için f_s değeri 1.00'dir. Ayrıca içerdeki sıcaklık mümkün ise 20 °C'nin üzerinde olmalıdır. Çatıya yakın yerlerden konveksiyon ile kaçan ısı ve yan duvarlardan kaçan ısı oldukça fazladır. Bu sistemlerin tümü daha büyük yüzey sıcaklıklarına ve daha büyük türbülansa ve sonuçta daha büyük ısı kayıplarına yol açarlar.

Tablo 1.21. Sistem tanımlama faktörü (f_s)

Isıtıcılarla ısı temini	1.15
Sistemde %50 radyasyon ve konveksiyon borulu sistem	1.10
Su borulu sirkülasyon	1.15
Toprağa ve camlara yakın ısıtma	1.00
Soğuk günlerde cam seralarda 20 °C sıcaklık	0.95

Seralarda kullanılan ısıtma yöntemlerini şu başlıklarda toplayabiliriz;

- Sobalarla ısıtma,
- Kaloriferli ısıtma,
- Sıcak havayla ısıtma: Isıtılmış havanın bir basınç altında sürekli olarak gönderilmesi ilkesine dayanır.
- Doğal enerji kaynaklarından yararlanarak ısıtma,
- Elektrik enerjisiyle ısıtma,
- Atık enerjiden yararlanarak ısıtma.

Daha önce ifade ettiğimiz gibi seracılıkta ısıtma problemleri serada yetiştirilen ürünlerin maliyetini doğrudan etkilemektedir. Bu oran yaklaşık yetiştirilen ürünün % 70 maliyetine karşılık gelmektedir. Bu durum seracılık açısından oldukça önemli ve üzerinde dikkatle durulması gereken bir husustur. Ayrıca sera ısıtma uygulamaları; ürün hâsılatı, ürün kalitesi ve yetiştirme zamanı üzerinde de büyük bir etkiye sahiptir. Seracılık potansiyelinin daha da geliştirilmesine, seralarda enerji tasarruf önlemleri alınmasının yanı sıra yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla mümkün olunabilir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının ucuz, kolay bulunabilir, çevreye zararsız, değişik enerji türlerine dönüştürülebilir olmaları seracılığı olumlu etkileyecek yönlerdir. Bu nedenlerle alışlagelmiş klasik sistem ve yöntemlerin dışında alternatif enerji kaynakları kullanılarak bu sorunların üstesinden gelinebileceği açıktır.

1.14.2. Seraların Soğutulması

Soğuk havalarda veya geceleri seraları ısıtmaya ihtiyaç duyduğumuz kadar özellikle güneşli günlerde de sera sıcaklığını düşürmek için soğutmak veya havalandırmak gereklidir. Aksi halde bitkiler zarar görebilir. Bu amaçla seraların havalandırma nedenlerini şöyle sıralayabiliriz;

- Oksijen ve karbondioksit dengelemesi
- Sera içi sıcaklığının dengelenmesi,
- Güneşlenmeyle ortaya çıkan yüksek ısının sera dışına atılması,
- Nemin dengelenmesi,

Seralardaki havalandırma sistemlerinin sahip olması gereken özellikler ise şunlardır;

- Serayı havalandırmak için havalandırma sistemi yeterli ebatta açıklıklara sahip olmalıdır,
- Sistem düşük bir enerji sarfıyatı veya az bir kuvvetle çalışabilmelidir,
- Havalandırma sistemi sera içerisinde yeterli bir hava hareketi oluşturabilmeli ve bu hareket bitkilere zarar vermemelidir,
- Taze hava, sera içerisindeki bitkilere doğrudan çarpmamalı,
- Havalandırma sistemi çalıştırılmadığı zaman ısı kaybı olmaması için iyice kapanabilmelidir,
- Havalandırma sistemi dış etkilerle açılıp kapanmayacak kadar sağlam bir yapıda olmalıdır.

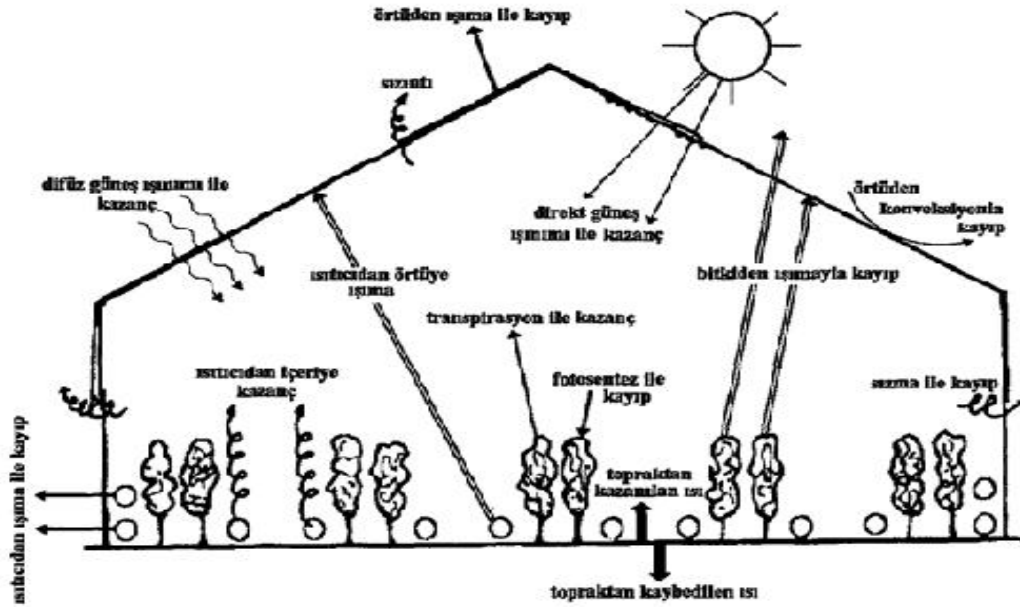
1.15. Seraların Isı Gereksinimleri

Bir seranın ısı ihtiyacını belirlemek için öncelikle seranın ısı kayıp ve kazançlarının bilinmesi gereklidir. Şekil 1.62’de seradaki ısı kayıp ve kazançları görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi seralar; öncelikle dış ortam sıcaklığının, sera içindeki havanın ve sıcaklığın, ısıtma sisteminin, güneşin, seradaki bitki örtüsünün, toprağın ve sera örtü malzemesinin birbirlerini etkiledikleri bir bütün halindeki üretim sistemidir.

Seranın ısı kaybı hesaplanırken bazı faktörlerin neden olduğu ısı kayıpları ve kazançları diğer faktörlere göre çok küçük kalmaktadır. Dolayısıyla bu faktörler seranın ısı dengesi üzerindeki etkileri ihmal edilebilir. Günhan’a (1998), göre ihmal edilebilir faktörler şunlardır;

- Bitki örtüsünden kaynaklanan ısıma ile kayıp,
- Örtü malzemesinden ve sera içerisinde dolaştırılan ısıtıcı borulardan ısıma ile kayıp,
- Topraktan iletim ile oluşan kayıp,
- Fotosentez ile oluşan kayıp,
- Terleme (transpirasyon) ve yoğuşma ile kazanılan ısılar

çok küçük oldukları için ihmal edilebilirler.



Şekil 1.62. Seradan meydana gelen ısı kayıp ve kazançları (Günhan,1998)

Seraların ısıtılması için gerekli olan toplam ısı miktarı (Q), seradan kaybolan ısı (Q_K) ile güneş enerjisinden elde edilen ısı (Q_G) farkına eşittir.

$$Q = Q_K - Q_G \quad (1.7)$$

Seralar ekseriyetle güneş olmayan soğuk günlerde ve geceleri ısıtılmaktadırlar. Bu durumda güneş enerjisinden elde edilen ısı (Q_G) sıfır olması nedeni ile seraların ısıtılması için gerekli toplam olan ısı (Q), seradan kaybolan ısıya (Q_K) eşittir.

$$Q = Q_K \quad (1.8)$$

1.15.1. Seradan Kaybolan Isının Belirlenmesi

Seradaki ısı kaybının en fazla olduğu zaman gece saatleridir. Çünkü gece saatlerinde güneş yoktur ve dolayısıyla güneşten elde edilen ısı enerjisi değeri sıfırdır. Dolayısı ile hesaplamaları geceye göre yapmak daha gerçekçi olmaktadır.

Seradan kaybolan ısıdaki en büyük pay örtü malzemesine aittir. Seradan kaybolan ısı (Q);

- A_1 = Seranın yanal yüzey alanı (m^2)
- A_2 = Seranın çatı yüzey alanı (m^2)

- R_1, R_2 = Sera malzemesinin ısı direnci ($m^2 \text{ } ^\circ\text{C} / W$)
- T_i = İç ortam sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)
- T_o = Dış ortam sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)
- f_w = Rüzgar ve ıslık faktörü
- f_c = Sera inşaat tipi veya kalite faktörü
- f_s = Sistem faktörüne

bağılıdır.

Kahvecioğlu sera ısıtma kayıplarını aşağıdaki eşitlikle ifade etmiştir (Tokgöz, 2006);

$$Q = \left(\frac{A_1}{R_1} + \frac{A_2}{R_2} + \dots \right) (T_i - T_o)(f_w)(f_c)(f_s) \quad (1.9)$$

1.15.2. Isı Kaybı İle İlgili Faktörler

Isı kayıp formülümüzde ısı kazancı söz konusu değildir. Çünkü ısı kaybı gece en fazladır ve formüller maksimum ısıtmanın gerekli olduğu gece koşullarına göre ayarlanmıştır.

Isı kaybını azaltmak için değişik metotlar mevcuttur. Bunlar;

- Isı değiştirgeçleri kullanmak,
- Sera yüzey alanını çift katlı naylon ile kaplamak,
- Çift cidar polikarbon veya akrilik cam malzemeler kullanmak,
- Geceleri izolasyon perdeleri kullanmak,
- Kuzey duvarı örneğindeki gibi bazı yüzeylerin izolasyonlarını yapmak,
- Çift katlı örtülerde polietilen boncuklar kullanmak,
- Taban çevresinin izolasyonu

olarak sıralamak mümkündür.

Ancak bu noktada dikkat edilmesi gereken bir husus göz ardı edilmemelidir. O da ıslık faktörüdür. Çünkü ıslık bitkilerin gelişiminde önemli unsurlardan biridir. Bu noktada seraların kuzey taraflarına ısı yalıtımı ve ısı kaybı için örülen kuzey duvarı göz önüne alındığında olabilecek ıslık kayıpları, ürün ve kalitesinde düşüklüğe de sebep olmaktadır. Bu nedenle seranın yüzey alanına yapılan ıslık engelleyici sistemler, yalıtımlar vb. istenmeyen unsurlardır. Seranın kuzey tarafının izolasyonu soğuk ülke uygulamaları için

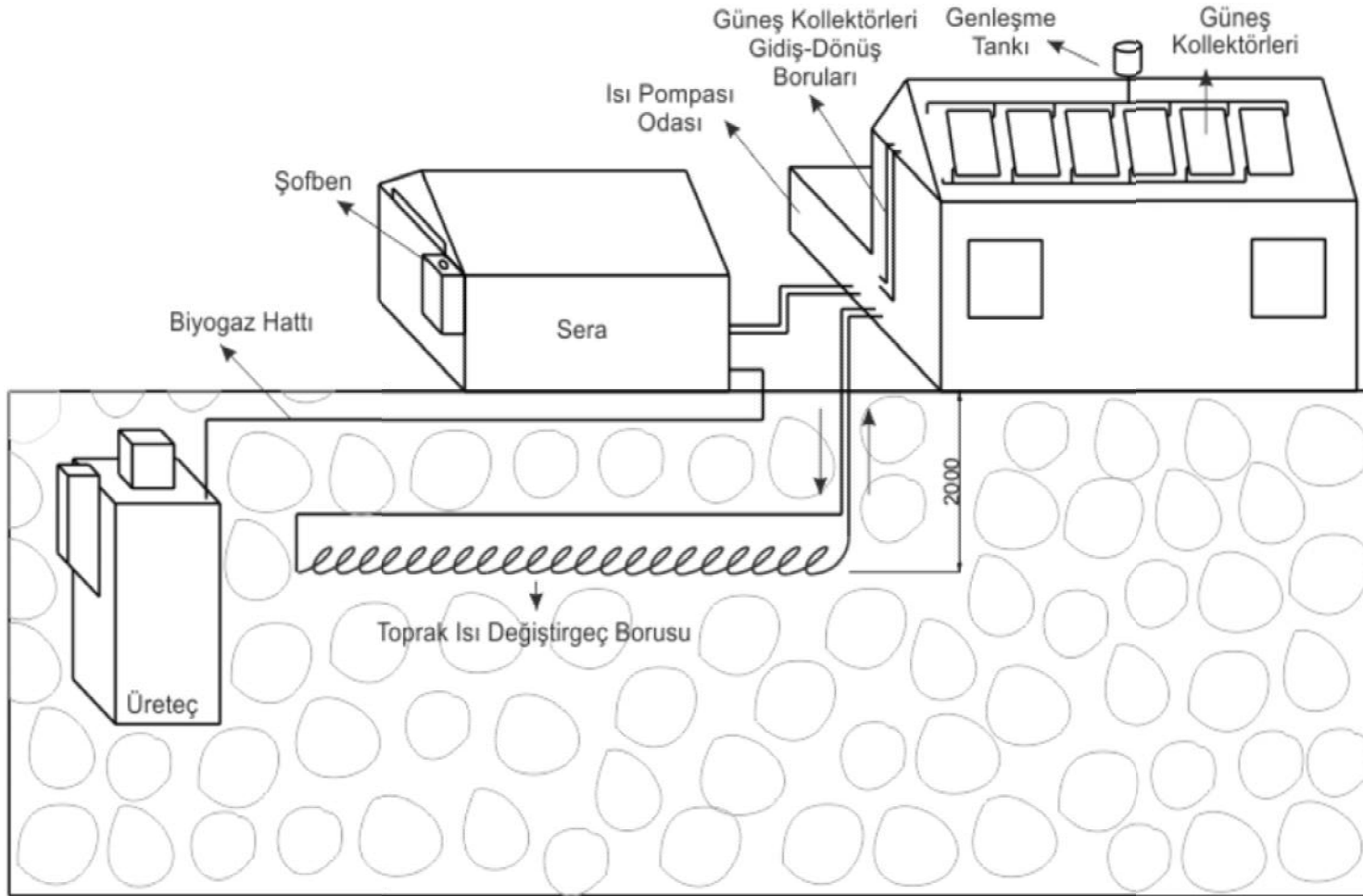
uygun bir çözüm yöntemi olabilir. Seralarda kullanılan ısıtma sistemleri açısından, formüllerle hesaplanan ısıtma yükü hesaplarında % 10 ile % 20 civarında bir emniyet faktörü göz önüne alınmalıdır.

2. MATERYAL VE METOT İLE BULGULAR

İnşa edilen belirli boyutlardaki bir seranın; biyogaz, güneş ve toprak gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak Elazığ şartlarında ısıtılmasının uygulanabilir olup olmadığı konusunda bir çalışma yapılmıştır. Burada çalışmanın farklı üç sistem düşünülerek yapılmasındaki gaye, ısıya ihtiyaç duyulan her zaman en az bir veya iki sistemin çalışır ve yeterli ısı elde edilebilir durumda olmasının mümkün olup olmadığını belirlemektir. Çünkü kış aylarında, geceleri ve güneşin sınırlı olarak görüleceği veya görülmeyeceği günlerde güneşle ısıtma sistemi çalışmayacaktır. Bu anda toprak, her zaman artı sıcaklık değerini muhafaza ettiği için topraktan elde edilen ısınnın kullanılması yeterli olacaktır ya da elde edilen biyogazın ısıtma amaçlı kullanarak aynı görevi yerine getirmesi düşüncesini taşımaktayız. Bunun yanı sıra her iki sistemde birlikte kullanılarak da aynı görevi yerine getirmek mümkün olacaktır. Ayrıca üretilen biyogazın kullanımında olabilecek sıkıntılar ve sürekli olarak topraktan ısı çekilerek ısıtma yoluna gidilmesi durumunda, ısınnın çekildiği ortamındaki sıcaklığın da düşmesi sıkıntı oluşturabileceği düşüncesi ile deneysel olarak üç sistemin kullanımı uygun görülmüştür.

Polikarbonat ya da halk arasındaki ismi ile polikarbon (6 mm) malzemeden yeni kurulumu yapılan seranın boyutları 6 m x 4 m x 2.10 m'dir. Seranın içerisini ısıtmak için; birinci yöntem olarak topraktan elde edilen ısıyı imal edilen ısı pompası mekanizması aracılığı ile sera ortamına aktarmak. İkinci yöntem olarak güneşten elde edilen ısıyı yine aynı ısı pompası mekanizması kullanılarak sera ortamını ısıtmasında kullanmak. Üçüncü olarak da imal edilen biyogaz tesisinden elde edilen biyogazın yakılarak fan-coil sistemi ile sera ortamının ısıtılması için kullanılmasıdır. Her üç sistemde de seranın sıcaklığını ayarlamış olduğumuz 23 °C'ye ulaştığını ve kurulan sistemler sayesinde bu değerde tutulabildiği tespit edildi.

Şekil 2.1'de şematik olarak görülen üç tane yenilenebilir enerji kaynağı kullanılarak; biyogaz, güneş ve toprak enerjisi ile tasarlanmış olunan sistemin deney setinin imalatı ve kurulumu yapıldı. Sistemlerden elde edilen sıcaklık değerlerinin ölçüm işlemlerini, termometrelerle ve belirli noktalara yerleştirilen T tipi bakır-konstantan ısı çiftleri yardımı ile belirli zaman aralıklarında CR10X tipi veri kaydedici (data-logger) cihazıyla tespit edildi. Tüm sistemlerde harcanan elektrik enerjisi bir Wattmetre yardımı ile tespit edildi. Elde edilen değerler ışığında sistemlerin performansları tespit edildi.



Şekil 2.1.Deney düzeneğinin şematik olarak görünüşü

Seranın ısıtma ihtiyaç zaman aralığı olarak Kasım – Mart ayları arası kabul edilmiş ve çalışmalar bu zaman aralığı için yapılmıştır. Kendi yaptığımız ölçümlerle kıyaslayabilmek açısından Elazığ için 2009 - 2010 yıllarına ait günlük dış hava sıcaklık değerleri Elazığ Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden temin edilmiştir. Ayrıca deney düzeneğini kurmuş olduğumuz bölgede, ısıl çiftler aracılığıyla sıcaklık değerleri ve solarimetre (piranometre) aracılığıyla güneş ışıyım değerleri veri kaydedici cihazı kullanılarak kaydedilmiştir.

Deneyselerimizi yapabilmek için ileride detayı anlatılacak olan sistemlerin imalatları ve kurulumları yapıldı. Bunlar;

- Slinky (spiral) tipi toprak ısı değıştirtgeci kurulumu için kanal kazımı, boru yerleşimi ve kanalın kapatılması,
- Sera iskeletinin hazırlanması, kurulumu ve boyanması,
- Sera örtü malzemesi olan polikarbonların montajı,
- Biyogaz üretim tankının imalatı, çukur kazımı ve tankın çukura yerleşiminin yapılarak gaz hattının çekilmesi,
- Güneş kolektörlerinin yerleştirilmesi ve borularının çekilmesi,
- Toprak ısı değıştirtgeç boru bağlantılarının yapılması,
- Isı pompası düzeneğinin imalat ve kurulumunun yapılması,
- Sera iççerisi ısıtma düzeneğlerinin kurulumları

şeklinde ana hatları ile sıralamak mümkündür.

2.1. Sistemlerin İmal Edilmesi ve Kurulumları

2.1.1. Seradaki Isı Kaybı

Isıtılması planlanan seranın çatı şekli ikizkenar üçgen ve sera kaplama malzemesi olarak tüm sera için polikarbonat yada halk arasındaki ismi ile polikarbon (6 mm) malzeme tercih edilmiştir. Sera kaplama malzemesi polikarbonun ısıl direnci $RSI = 0.30 \text{ m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$ olarak alınmıştır. Sera sabit iç ortam sıcaklığı $T_i = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak planlanmıştır. Rüzgâr faktörü, yapı faktörü ve sistem faktörü değerlerinin her biri 1 olarak kabul edilmiştir.

Isı kayıp formülünde ısı kazancının söz konusu olmadığı daha önce ifade edilmişti. Isı kaybının en fazla olduğu zaman gece vakti olması sebebi ile ısı kayıp formülü

maksimum ısıtmanın gerekli olduğu gece koşullarındaki kaybı ifade etmektedir. 12 Şubat 15:30'daki seradaki yaklaşık ısı kaybı için örnek çalışma aşağıdaki ifadeyle belirlenmiştir.

$$Q = \left(\frac{A_1}{R_1} + \frac{A_2}{R_2} \right) (T_i - T_o)(f_w)(f_c)(f_s) \quad (2.1)$$

$$A_1 = 2 \times ((6 + 4) \times 2,10 + (4 \times 1,05 / 2)) = 46.2 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 2 \times 6 \times 2.10 = 25.2 \text{ m}^2$$

$$Q = \left(\frac{46.2}{0.30} + \frac{25.2}{0.30} \right) (23 - 3)(1)(1)(1) = 4760 \text{ W} = 4.76 \text{ kW}$$

2.1.2. Slinky (Spiral) Toprak Isı Değiştirgeci Kurulumu

Sera ortamını güneş olmayan günlerde ve geceleri ısıtabilmek için ilk olarak slinky (spiral) konfigürasyonlu tip toprak ısı değiştiricisi toprak altına yerleştirilmiştir. Bu amaçla slinky toprak ısı değiştirgeç borusunu toprak altına döşeme işlemi için iş makinesi kullanılarak 15 m uzunluğunda 2 m derinliğinde ve 1 m eninde bir kanal kazıldı. Kazılan kanalın içerisine şekil 2.2'de gösterilen haliyle 150 m uzunluğundaki 40 mm çapındaki polietilen sdr11 tipi boru spiral oluşturacak şekilde döşendi ve yerleştirme düzeninin bozulmaması için de yerleştirildiği zeminde belirli yerlerden plastik kelepçelerle bağlandı. Borunun yerleştirildiği kanal içerisinde şekil 2.3'de gösterildiği gibi belirli noktalardan sıcaklık ölçümleri yapmak için T tipi bakır-konstantan ısı çiftleri kanalın başına (T_1), ortasına (T_2) ve sonuna (T_3) yerleştirildi.

Bu işlemlerden sonra boru ve ısı çiftlere zarar vermeden kanal kapatılarak slinky (spiral) tipi toprak ısı değiştirgeci deneysel çalışmaya hazır hale getirildi. Borunun içerisine daha sonra su-antifriz karışımı doldurmak için ağız kısımları kapatıldı. Kanal kapatılırken aynı zamanda T_{23} toprak yüzeyi ve 1 m derinliğindeki T_4 , T_5 ve T_6 toprak sıcaklıklarını ölçmek için de ısı çiftler yerleştirildi.

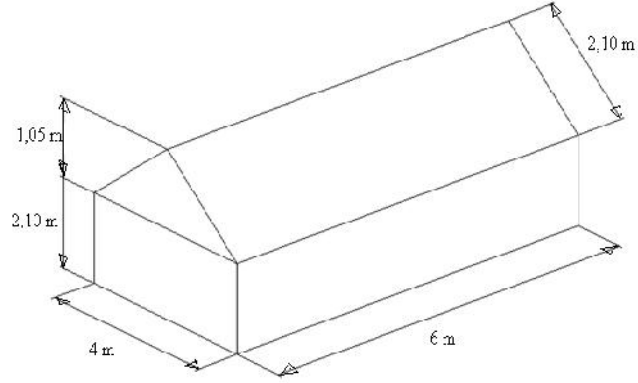


Şekil 2.2. Slinky (spiral) olarak serilmiş boru görüntüsü



Şekil 2.3. Boru hizasına yerleştirilmiş olan ısıtıcı çiftler

2.1.3. Seranın Kurulumu



Şekil 2.4 Seranın şematik görünümü

Sera, 24 m² olarak planlanmıştır. Ebatları Şekil 2.4’de şematik olarak gösterildiği gibi; uzunluğu 6 m, genişliği 4 m, yüksekliği 2.10 m, çatı eğimi için yükseklik miktarı da 1.05 m olarak kurulmuştur. Şekil 2.5’te gösterildiği gibi 40x40 profil demirden inşa edilen sera, paslanmaması ve uzun ömürlü olması için boyanmıştır. Şekil 2.6’da gösterildiği gibi örtü malzemesi olarak tüm yüzeylerde 6 mm’lik polikarbon şeffaf malzeme hava sızdırmaz olarak profil demirden yapılan iskelet üzerine zedelenmeyecek şekilde vidalanmıştır. Şekil 2.7’de gösterildiği gibi sera taban çevresi toprak seviyesine kadar 20 cm kalınlığında beton dökülerek seranın inşası tamamlanmıştır. Seranın her hangi bir kısmında yalıtım malzemesi kullanılmamıştır.



Şekil 2.5. Sera iskeletinin kurulumu



Şekil 2.6. Polikarbonun sera iskeletine montajı



Şekil 2.7. Seranın bitmiş hali

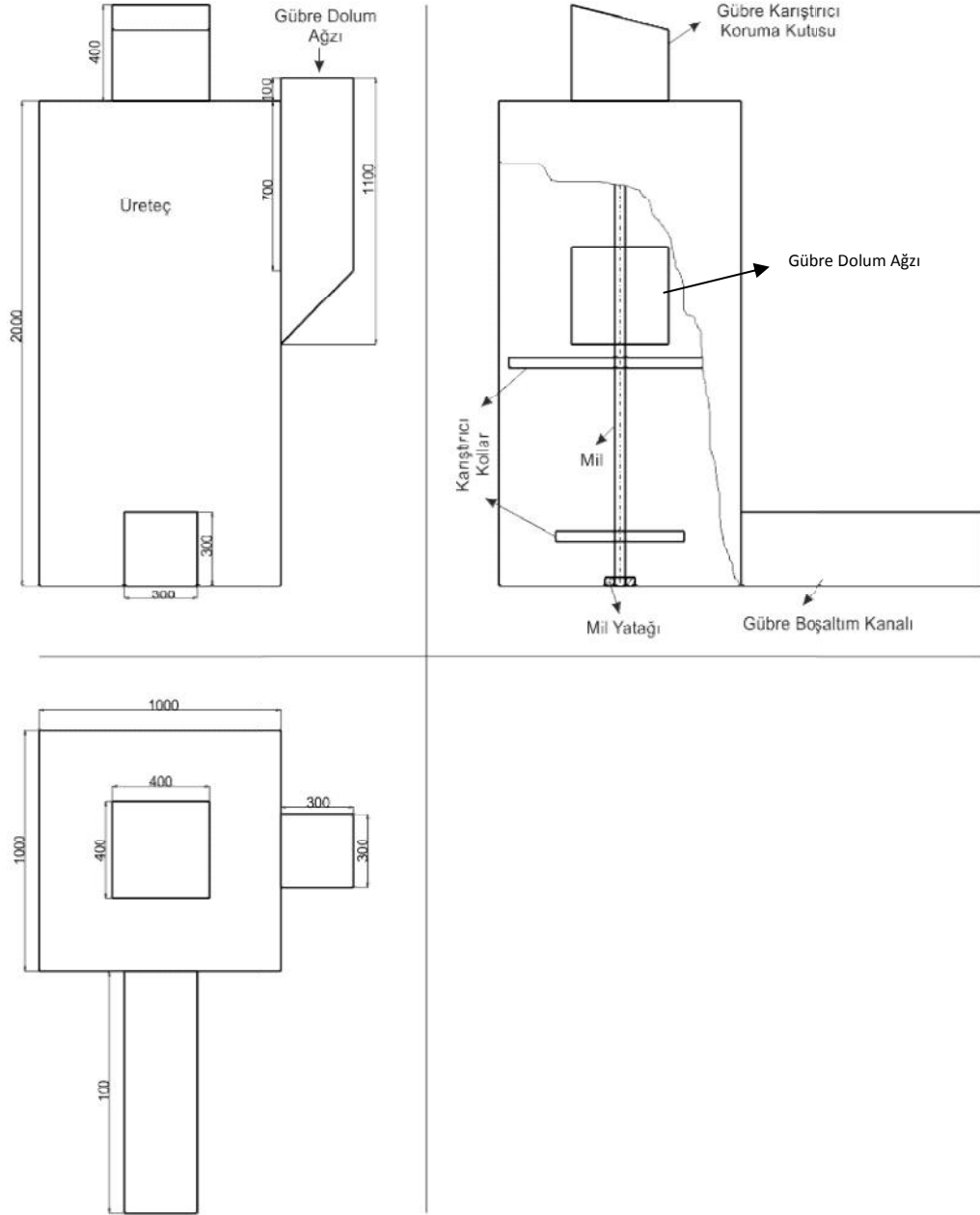
2.1.4. Biyogaz Üreteç İmalatı ve Kurulumu

Toprak ve güneş enerjisine yardımcı olması veya tek başına kullanım için biyogaz üreteç imalatı ve kurulumu yapıldı. Bu sistem sayesinde üretilen gaz, ısıtma sisteminde suyu ısıtmak için kullanılarak sera içerisindeki fan-coile bir su pompası yardımı ile devir daimi yaptırılması sonucunda seranın içerisinde ısıtılması sağlandı.

Bu amaçla şekil 2.8’de görülen ve şekil 2.9’da detaylı ölçüleri verilen 3 mm kalınlığındaki, 1 m eninde, 1 m boyunda ve 2 m yüksekliğinde boyutlara sahip siyah sacdan biyogaz üreteç tankı (fermantör) imal edildi.



Şekil 2.8. Biyogaz üreteç tankı (fermantör)



Şekil 2.9. Biyogaz üreticinin detaylı şekli

Kesikli fermantasyon sistemine uygun olarak imal edilen tank, deney yapılacak olan seradan yeterli mesafe uzakta kazılan çukurun içine yerleştirilerek etrafı dolduruldu. Biyogaz üretimi amaçlandığı için elde edilecek gübre bu aşamada değerlendirilmeyecektir. Dolayısıyla bu konu ile ilgili bir düzenek kurulmamıştır. Şekil 2.10’da de görüldüğü gibi biyogaz tankının çukura yerleştirmesi işlemleri elimizde olmayan sebeplerden ötürü akşam saatlerinde gerçekleştirilmiştir. İmal edilen üreticimizin 1.3 m’lik kısmı fermantör kısmı ve 0.7 m’lik kısmı ise biyogaz deposu olarak planlanmıştır. Ayrıca elde edilen gaz gazometre kabında depolanarak toplam üretilen gaz miktarı belirlenmiştir.



Şekil 2.10. Biyogaz tankının çukura yerleştirilmesi

Biyogaz tankının içerisine konulacak olan gübre su karışımının toprak sıcaklığı ile ısınması amaçlandığı için yarıya kadar olan üst kısım yalıtılmış ve üzeri dış çevre şartlarından en az etkilenmesi için naylonla yalıtılmıştır. Bu sayede toprağın doğal olarak daha fazla sıcak kalması planlanmıştır. Üretecin ön kısmına örülen duvar da yalıtılarak toprağın dış hava koşullarından dolayı soğuması engellenmiştir (şekil 2.11).



Şekil 2.11. Biyogaz tankının dış ortamdan yalıtılması

İmal edilen üreteç içerisine konulacak karışımın; yüzey kısmında köpük tabaka oluşmasını engellemek, su ile gübrenin daha iyi karışarak homojen bir karışım oluşturmasını sağlamak, sıcaklık dağılımını dengelemek ve sonuçta metan gazı çıkışını engelleyen unsurları en aza indirmek amaçlanmıştır. Ayrıca gaz çıkışını hızlandırmak için belirli zamanlarda karıştırılması amacıyla üretecin üst kısmına 1400 dev/d hızla dönebilen ve 1.1 kW'lık güce sahip bir elektrik motoru yerleştirilmiştir. Şekil 2.12.'de görüldüğü gibi

motor, hızını dakikada 15 devire düşürecek olan hız düşürücüye (redüktör) vermektedir. Bu sayede hareket, üreteç içerisine yerleştirilmiş olan ve şekil 2.9’da detay resimde görüldüğü gibi alt ucundan yataklandırılmış iki adet kola sahip karıştırıcı mile aktarılmaktadır. Kurulan düzenek sayesinde karıştırma işlemi her bir saatte 5 dakika şeklinde düzenli bir biçimde gerçekleştirilmiştir. Elektrik motorunun ve hız düşürücünün (redüktörün) hava koşullarından etkilenmemesi için üzeri açılabilen kutu içerisine şekilde görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Diğer bir deney aşamasında üreteç içerisindeki gübrenin ısıtılması için üretece sıcak su ile ısıtılan bir serpantin düzeneği yerleştirilmiştir. Bu sayede hem doğal toprak sıcaklığı ile ısınan üreteçle bir deney, hem de serpantin yardımı ile sıcak su kullanılarak ısıtılan üreteçle ikinci bir deney yapma imkânı olmuştur.



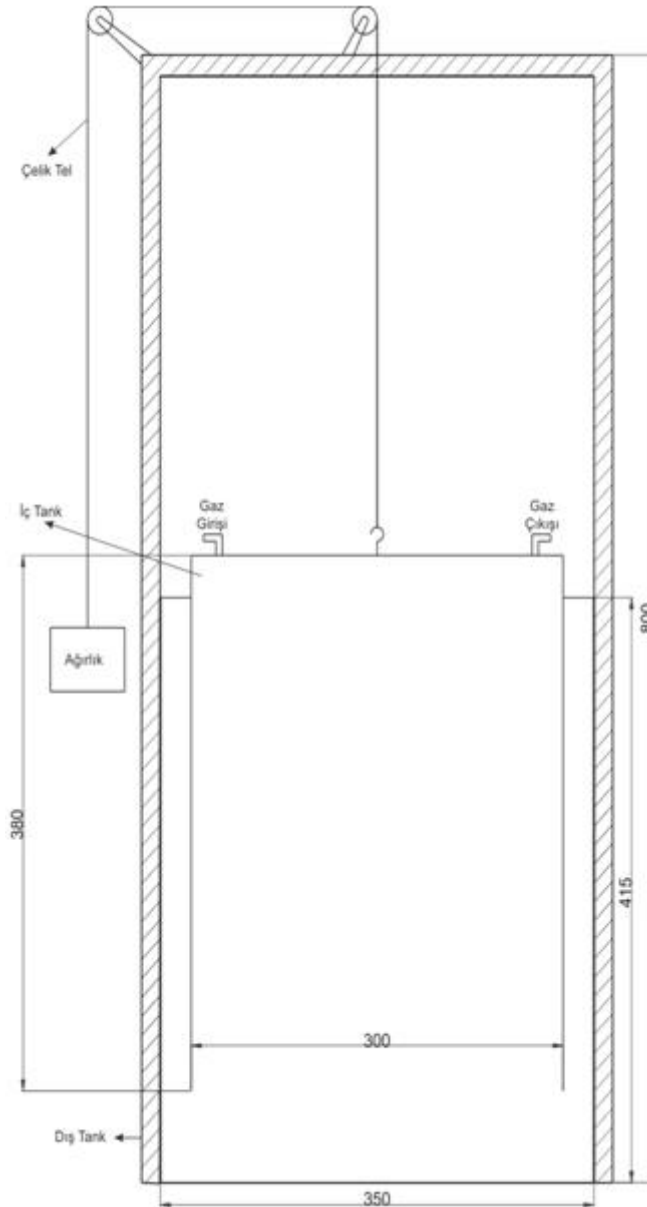
Şekil 2.12. Gübre karıştırıcı motor düzeneği ve koruyucu kutu

Sistemden elde edilen biyogazı kullanabilmek için üreteçten gazometreye kadar plastik borular kullanılarak bir gaz hattı döşenmiştir.

2.1.5. Gazometre

Üreteçten elde edilecek biyogazı ölçmek ve basıncını arttırarak yakılacak sisteme göndermek için şekil 2.13’te detay resmi verilen gazometre imal edilmiştir. İç ve dış tank, paslanmamaları için kromdan, ağız kısımları açık yaklaşık olarak 26 litre hacimde imal edilmiştir. İki tank arasındaki sızdırmazlık, dış tankın içerisine konulan su ile sağlanmaktadır. Üreteçten gelen gazın dolumu için gaz girişi ve gazın kullanımı için gaz çıkış ağızları iç tanka kaynak edilmiştir. Gazın dolumu ve boşalması esnasında iç tankın

düzgün bir şekilde hareket etmesi için ucuna ağırlık bağlanan bir mekanizma oluşturulmuştur. Ayrıca gazın boşaltılması esnasında gaz üzerinde basınç oluşturmak için iç tankın orta kısmından bağlanan dışı plastik kaplı çelik halat mekanizması şekil 2.14'te görülmektedir. Bunun yanı sıra tanka gaz doldukça iç tankın bu sayede düzgün bir şekilde yükselmesi sağlanmış ve yükselme miktarı ölçülerek üretilen gaz miktarı tespit edilmiştir.



Şekil 2.13. Gazometre detay resmi



Şekil 2.14. Gazometre kabından görüntüler

2.1.6. Güneş Kollektörleri



Şekil 2.15. Güneş kollektörleri

Klasik alüminyum levhalı düz tip güneş kollektörleri ile güneş enerjisinde ısıtılan antifrizli su, imal edilen ısı pompası haznesine sirkülasyon pompası kullanılarak nakledilmiştir. Elde edilen ısı enerjisi, ısı pompası marifetiyle sera ortamına üflenerek sera ısıtılmasında kullanılmıştır. Bu amaçla şekil 2.15'te görüldüğü gibi her biri 90cm x 190cm ölçülerindeki 12 boru geçişli ve alüminyum plakalı 6 adet düz tip güneş kollektörü, kurulan seranın yanındaki evin çatısına yerleştirilmiştir. Hacimsel olarak yaklaşık %20 antifrizli ısınmış olan suyun oluşturacağı basıncı dengelemek için sisteme bir adet genleşme tankı

yerleştirilmiştir. Güneş kolektörlerine bir su pompası vasıtasıyla pompalanan antifirizli su, 50 cm x 50 cm x 70 cm ebatlarında imal edilen depo içerisine yerleştirilmiş olan ısı pompasının buharlaştırıcısını (evaporatörü) ısıtmak amacıyla depolanmıştır. Hem güneş enerjilerinde hem de toprak ısı değiştirgecinde dolaştırılan suyun debisi su sayaçları ile ölçülmüş ve devre üzerine yerleştirilen vanalar yardımı ile değiştirilebilmiştir. Güneş enerjisine giden, dönen ve depo içerisindeki antifirizli suyun sıcaklık ölçümleri ısı çiftler yardımı ile kaydedilmiştir. Aynı zamanda güneş kolektörlerinin yanına yerleştirilen solarimetre ile güneş ışıınım değerleri sürekli olarak kayıt altına alınmıştır. Isı pompasının evaporatörünün yerleştirildiği depo, hem toprak enerjisinden gelen antifirizli su için hem de güneş enerjisinden gelen antifirizli su ısı değiştirgeç ortamı olarak ortak kullanılmıştır. Bu sayede iki sistemden elde edilen düzenek daha ucuza mal edilmiştir. Ancak güneş ve toprak enerjisinden sadece biri aynı anda kullanılabilir. Kurulan otomasyon sisteminde yapılan sıcaklık ayarlamasında, güneş enerjisinden gelen su sıcaklığı 20 °C'nin altına düştüğü zaman güneş enerjisi sistemi devre dışı bırakılıp toprak enerjisinin pompasının devreye girmesi sağlanmıştır. Bu sayede istendiği takdirde tüm gün boyunca uygun olan sistem otomatik olarak çalışarak sera içerisindeki sıcaklığını sabit tutma (23 °C) imkanı sağlanmıştır.

2.1.7. Isı Pompası

Isı pompası, toprak veya güneş enerjisinden elde edilen ısıyı sera ortamına aktarılması için kullanılan cihazdır. Daha ekonomik ve kullanışlı olması amacıyla tasarım ve imalatı tarafımızdan yapılmıştır.

Sera ısıtmak amacıyla oluşturulan şekil 2.17'de görülen ısı pompası düzeneği, 50 cm x 50 cm x 70 cm ebatlarındaki 0.50 mm galvanizli sacdan imal edilen üstü açık kutu içerisine konulan ısı değiştirgeçlerin kapasiteleri 6535 kcal/h olan evaporatör ve sera ortamını ısıtmak için 0.09 kW gücündeki fan yardımı ile havanın üflendiği kondenser ve Buz Çelik BK16x35 modelindeki 2.19 kW gücündeki hermetik kompresörden oluşmaktadır. Bakır borular vasıtasıyla gelen ve kompresör tarafından pompalanan ısı taşıyıcı akışkanın ısısı; şekil 2.16'da görülen kondenserdan sera içerisine fan yardımı ile 0.73 kg/s debi ile üflenmektedir. Depo, içerisindeki akışkanın soğumaması veya dış ortamdaki etkilenmemesi için XPS yalıtım malzemesi ile yalıtılmıştır. Güneş enerjisinin ve toprak ısı değiştirgecinin ısısını depo içerisine taşıyan akışkan olarak özgül ısı 3.9 kJ/kgK

olan antifrizli su kullanılmıştır. Sıcaklığın 0 °C'nin altına düştüğü günlerde ısı taşıyıcı akışkanın donmasını önlemek için su ile %20 oranında antifriz karıştırılarak kullanılmıştır. Isı pompası içerisinde ısı taşıyıcı akışkan olarak R-22 (klorodifloro metan- CHClF_2) gazı kullanılmıştır. Depo ile güneş enerjisi arasında 0.5 HP (0.37 kW) gücünde 2850 d/dak Best Pomp P_2 ve depo ile toprak ısı değiştirgeci arasındaki P_2 ile aynı özelliğe sahip P_1 sirkülasyon pompaları yardımı ile antifrizli-su sirkülasyon yaptırılmaktadır. Şekil 2.16'da görülen veri kaydedici cihazı ile tüm sıcaklık değerleri de aynı zamanda kaydedilmektedir.



Şekil 2.16. İmal edilen ısı pompası sisteminden görüntüler

2.1.8. Biyogazla Isıtma Sistemi Kurulumu



Şekil 2.17. Sera içi biyogaz ısıtma sistemi

Biyogazla ısıtma sistemi, güneş enerjisi veya toprak ısı değiştirgeç sistemine yardımcı olması ya da tek başına kullanılarak seranın ısıtılması için biyogazın yakılması ile elde edilen ısınn fan-coil vasıtasıyla sera ortamına aktarıldığı sistemdir.



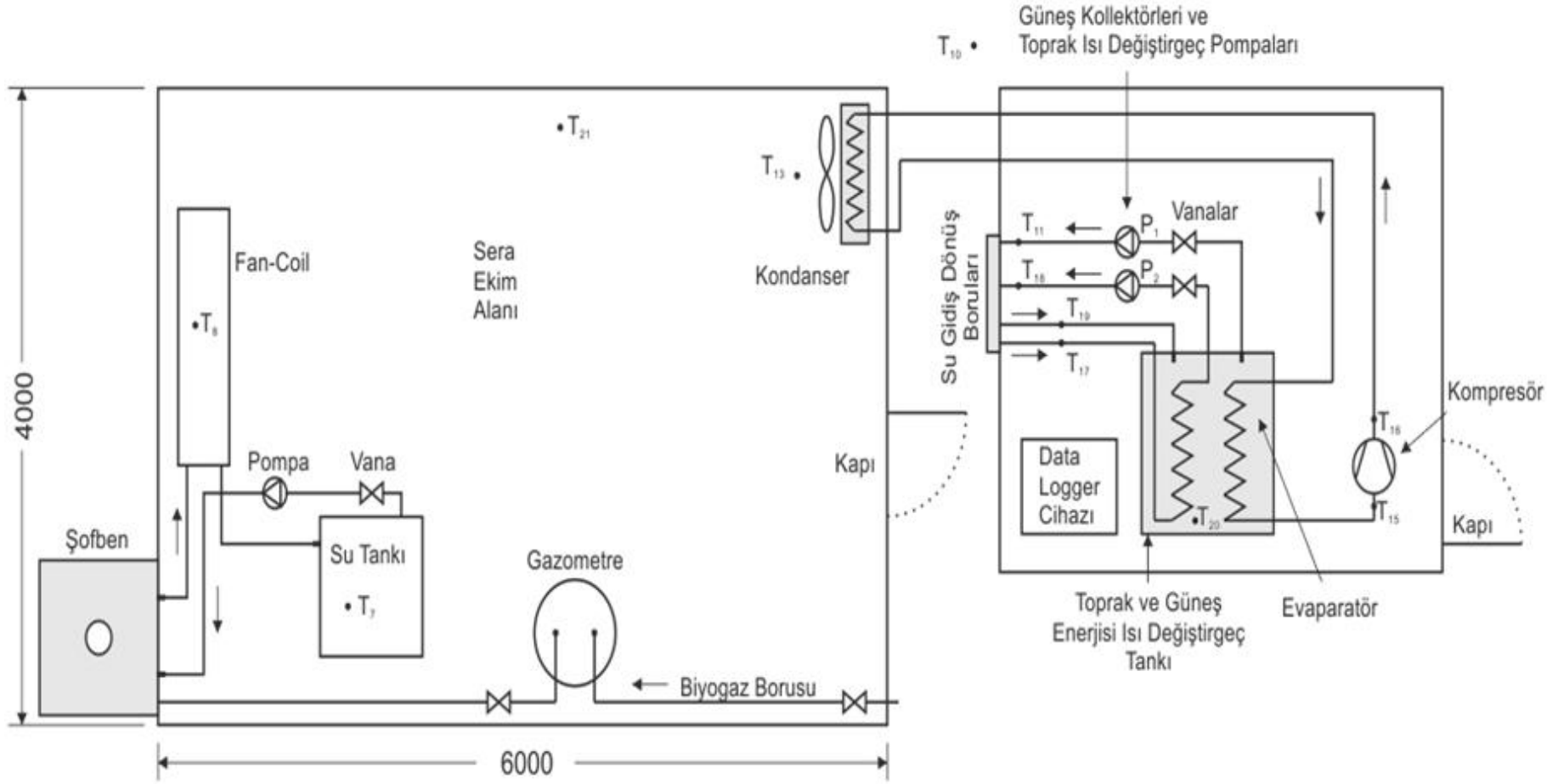
Şekil 2.18. Biyogazın alevi

Şekil 2.17’de sera içerisini ısıtmak amacıyla üretilen biyogaz gazometrede depolanmaktadır. Gazometredeki ağırlıkların azaltılması ile basıncı arttırılan ve ayarlanan biyogaz, yakılması amacıyla sera dışına kurulan şofbene gönderilmektedir. Biyogaz alevi şekil 2.18’de görülen şofbenin yakılması ile çıkan gazdan etkilenmemek için şofben sera dışına kurulmuştur. 50 cm x 50 cm x 70 cm ebatlarındaki 0.50 mm kalınlığındaki galvanizli sacdan imal edilen XPS ile yalıtılan su tankındaki %20 oranında antifiriz karıştırılmış olan su, P_1 ve P_2 ile aynı özellikteki su pompası yardımıyla sisteme pompalanmıştır. Seradaki ısı kaybı göz önüne alınarak ısıtma kapasitesi 6.18 kW ve motor gücü 144W olan fan- coile, şofbende ısıtılan su gönderilerek sera ortamının ısıtılmasında kullanılmıştır. Fan-coilden çıkan su depoya gönderilerek su sirkülasyonu tamamlanmıştır.

Burada ısıtılmış olan su, aynı zamanda ikinci deneyimizde kullanılarak biyogaz üretici içerisine yerleştirilen serpantine pompalanarak fermantörün ısıtılmasında da kullanılmıştır.

2.1.9. Sıcaklık Ölçümleri

Deneyler esnasında çeşitli noktalardan sıcaklık ölçümleri yapabilmek amacıyla, deney düzeneğinin kurulumu aşamasında şekil 2.19’da gösterildiği gibi belirli yerlere bakır-konstantan ısı çiftleri yerleştirilmiştir. Data-logger cihazı ile elde edilen değerler her 5 dakikada bir kaydedilmiştir.



Şekil 2.19. Sera ve ısı pompası odası yerleşim planı

Deney düzeneği üzerindeki sıcaklık ölçüm noktaları aşağıdaki isimlerle belirlenmiştir:

- T₁: 2 m'deki toprak sıcaklığı (sağ)
- T₂: 2 m'deki toprak sıcaklığı (orta)
- T₃: 2 m'deki toprak sıcaklığı (sol)
- T₄: 1 m'deki toprak sıcaklığı (sağ)
- T₅: 1 m'deki toprak sıcaklığı (orta)
- T₆: 1 m'deki toprak sıcaklığı (sol)
- T₇: Biyogaz su tankı sıcaklığı
- T₈: Sera içi fan-coil üfleme sıcaklığı
- T₁₀: Dış ortam sıcaklığı (hava)
- T₁₁: Toprak giriş sıcaklığı
- T₁₃: Fan üfleme sıcaklığı
- T₁₅: Kompresör giriş sıcaklığı
- T₁₆: Kompresör çıkış sıcaklığı
- T₁₇: Güneş giriş sıcaklığı
- T₁₈: Güneş çıkış sıcaklığı
- T₁₉: Toprak çıkış sıcaklığı
- T₂₀: Slinky (spiral) ısı değiştirgeç depo sıcaklığı
- T₂₁: Sera içi ortam sıcaklığı
- T₂₂: Üreteç sıcaklığı
- T₂₃: Toprak yüzey sıcaklığı (5 cm)

2.2. DeneySEL Çalışma

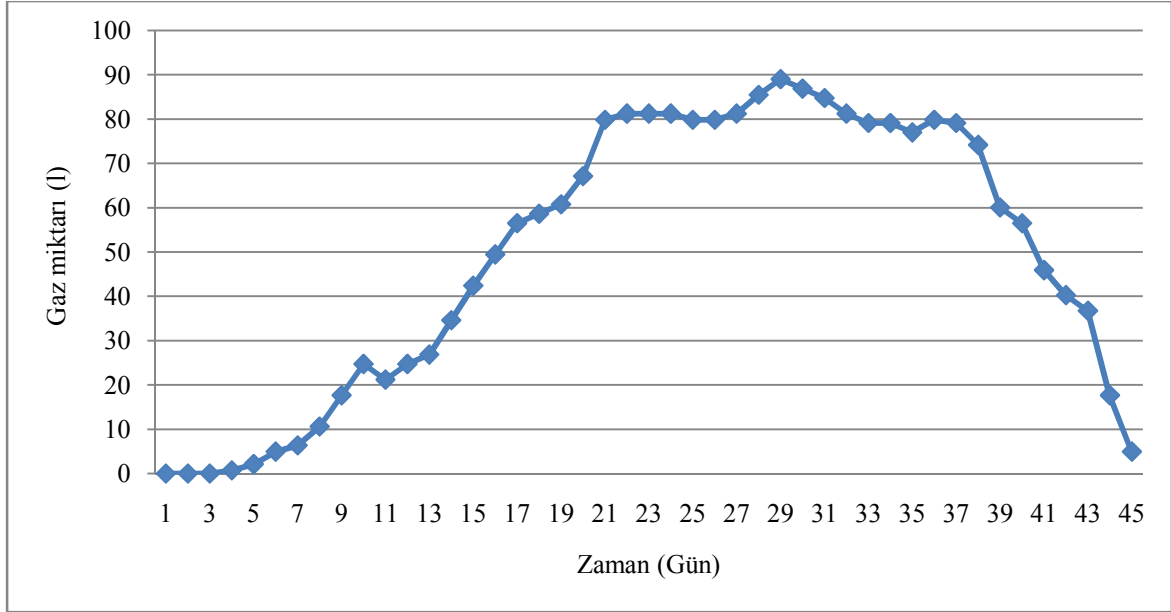
2.2.1. Biyogaz Üretimi

Kesikli fermentasyon sistemine uygun olarak kurduğumuz biyogaz sisteminden gaz elde etmek için 2 m³ hacmindeki reaktörümüze yaklaşık %10 oranında katı madde içeren gübremiz dolduruldu. Ancak reaktörümüzün üst 70 cm'lik kısmını biyogaz deposu olarak kullanmayı planladığımız için doldurduğumuz gübrenin miktarı 1.3 m³'lük hacme göre ayarlandı. Karışım içerisindeki katı madde oranını %10 seviyesinde tutabilmek için reaktörümüzün içerisine, yaş halde ağırlık olarak yaklaşık 600 kg gübre geriye kalan kısım

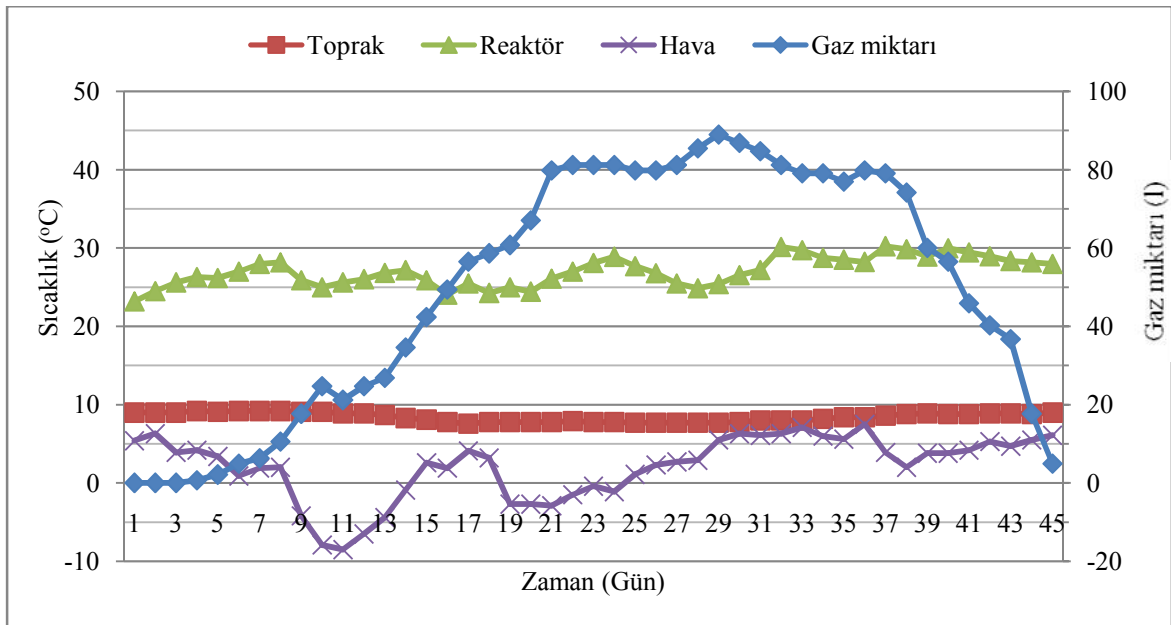
da su ile dolduruldu. 0.7 m³'lük kısım ise gaz depomuz olarak boş kaldı. Reaktöre su ile gübre karıştırılarak doldurulduktan sonra hava almayacak şekilde gübre dolum kapağı ve gaz çıkış vanası kapatıldı. Kurmuş olduğumuz otomasyon sistemi ile üreteçteki karışım saatte bir 5 dakika 15 dev/d ile karıştırıldı. Deney esnasında sıcaklık ve gaz çıkış miktarı sürekli olarak kontrol edildi.

Kasım ayında başladığımız ilk deneyimizde, üreteçte her hangi bir ısıtma işlemi yapılmadan toprak sıcaklığı ile ısınması planlanmıştır. Ancak deney esnasında yapılan sıcaklık ölçümlerinde biyogaz üretimi için gerekli olan sıcaklık şartları oluşmadığı için başarı elde edilememiştir. Bu nedenle elde edilen biyogaz miktarı çok düşük oranlarda kalmıştır ve sera ısıtması için yeterli düzeyde olmamıştır. Bu deneyimizde, birinci haftanın sonunda gaz çıkışının olduğu tespit edildi. Elde edilen gazı yakma çalışmalarımızda, içerisindeki metan yüzdesinin düşüklüğü nedeni ile yanmadığını daha önceki yapmış olduğumuz literatür çalışmalarında belirlemiş olduğumuz halde yine de yakılmaya çalışıldı ve gazın yanmadığı görüldü. Psikofilik bölge şartları içerisinde çalışmaya devam edildi. Devam eden günlerde gaz miktarında artış olsa dahi istenilen düzeyde olmadığı görülmüştür. Gerekli şartların oluşmamış olması sebebi ile başarı elde edilememiştir. Sonuçta üreteç boşaltılıp temizlenerek ikinci deneyimiz için hazırlanmıştır.

Üreteç, 15 Ocak tarihinde ikinci deneyimiz için yeniden dolduruldu ve hava almayacak şekilde ağzı kapatıldı. Fermantasyon sıcaklığı 25-38 °C sıcaklık aralığı olan mezofilik bölge seçildi ve bekleme süresi 45 gün olarak kararlaştırıldı. Bekleme süresi boyunca da her hangi bir şekilde ağzı açılmadı. Bu deneysel çalışmamızda üreteçte, birinci çalışmadan farklı olarak mezofilik şartların oluşmasına yardımcı olmak için içerisine yerleştirilen serpantine gönderilen sıcak su aracılığıyla ısıtma yapıldı. Su ısıtma sisteminde oluşabilecek arıza ihtimaline karşı serpantinle beraber elektrikli ısıtma sistemi de üreteç içerisine yerleştirildi. Üreteç sıcaklığı, mezofilik bölge sınırları içerisinde olacak şekilde ortalama 27 ±3 °C'de tutulmaya çalışıldı. Bu koşullarda 15 Ocak ile 28 Şubat tarihleri arasında üretilen gaz miktarı şekil 2.20'de grafik halinde gösterilmiştir. Literatür taramasında da tespit edilen ve zaman zaman yapılan pH kontrolünde, kullanılan sığır gübresi açısından sorun olmadığı görüldü. Bu çalışmada üreteçte 2231.83 litre gaz üretimi yapılmıştır. Aynı tarihlere denk gelen; reaktör, dış ortam ve toprak sıcaklıkları ile üretilen gaz miktarının karşılaştırmasının yapıldığı gazın oluşum şartlarını gösteren grafik şekil 2.21'de de görülmektedir. En fazla gaz üretimi de yaklaşık 89 litre ile 29. günde elde edildiği yine grafikte görülmektedir. Bu günden sonra günlük gaz üretiminde düşme başlamıştır.

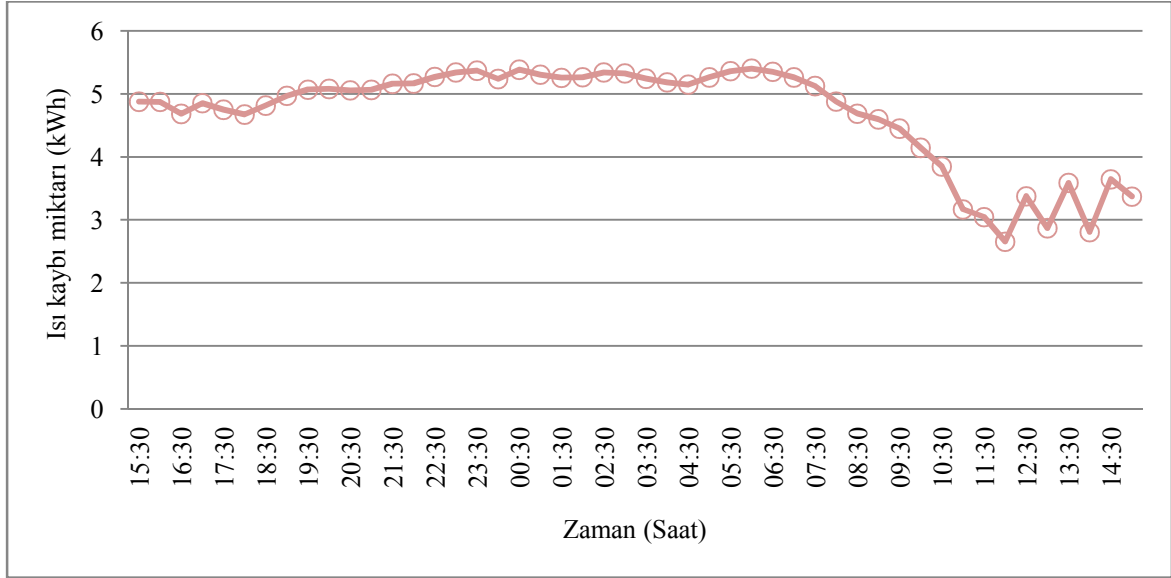


Şekil 2.20. Üretilen biyogaz miktarı



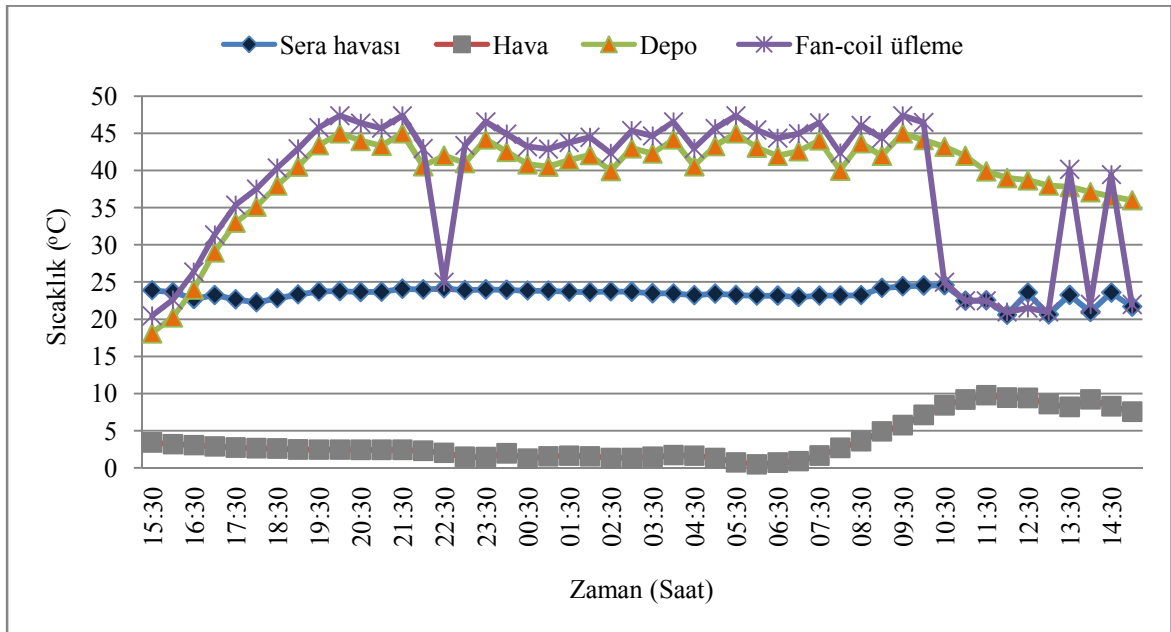
Şekil 2.21. Reaktör, dış ortam, toprak sıcaklıkları ve üretilen gaz miktarı karşılaştırması

2.2.2. Biyogaz Sistemi İle Isıtma

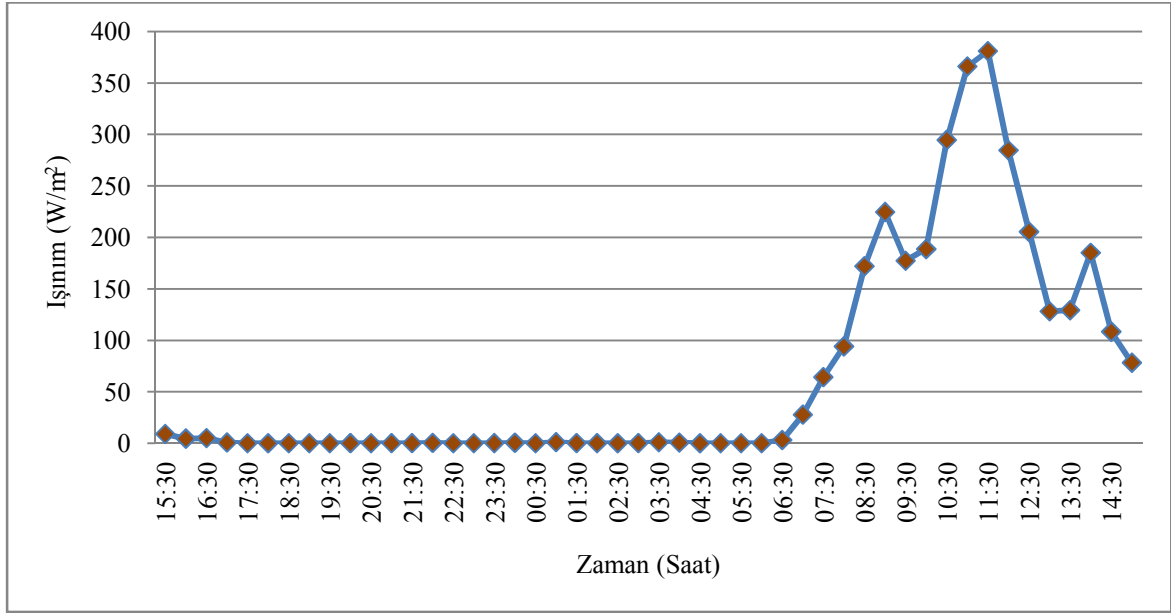


Şekil 2.22.12-13 Şubat'taki ısı kaybı değerleri

12-13 Şubat tarihi için tespit edilen ısı kayıp değerleri şekil 2.22'de görülmektedir. Buradan da anlaşılabacağı gibi seradan ısı kaybı en fazla gece saatlerinde olmaktadır. Akşam 8:00 ile sabah 7:00 saatleri arasında tespit edilen ısı kaybı 5 kWh ve üzerindedir. Günlük ortalama ısı kaybı ise 4.67 kWh olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.23. 12-13 Şubat biyogazla ısıtma esnasındaki parametrelerin karşılaştırması



Şekil 2.24. 12-13 Şubat tarihi için güneş ışınlamındaki değişim

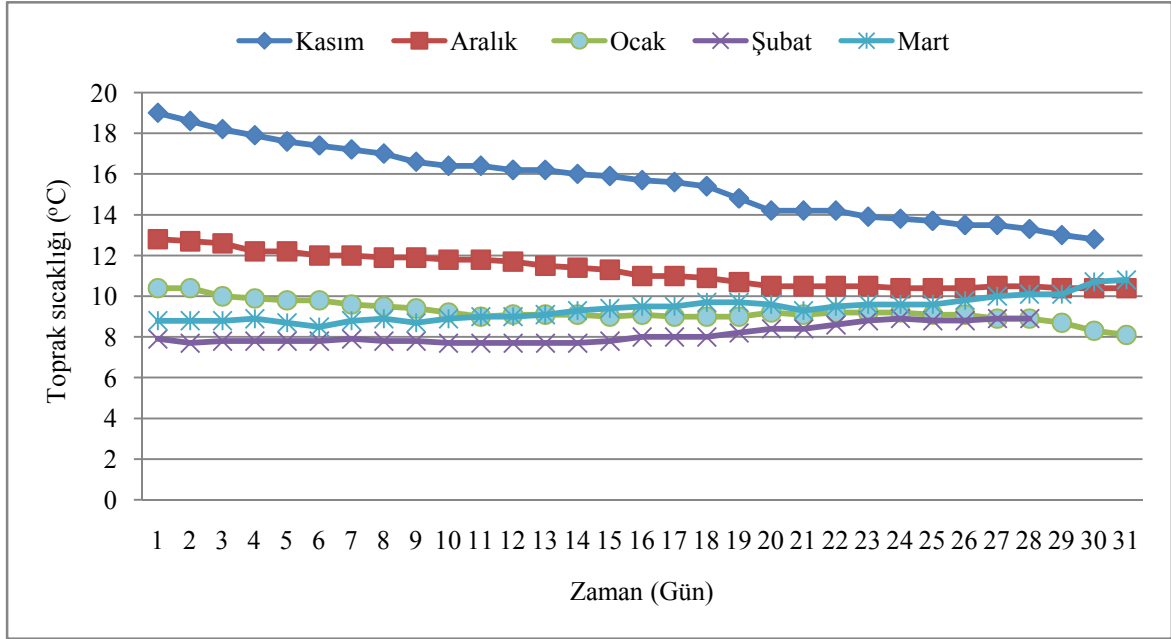
Gaz ile sera ısıtma işleminde; seradaki ısı kaybına karşın kurulmuş olan sistem sayesinde iç ortamın istenilen değerlerde ısıtılması işleminde başarı elde edilmiştir. Bu amaçla şekil 2.19’da görülen sistem sera içerisine kurulmuştur. Mezofilik şartlarda üretimi gerçekleştirilen gaz, üreteçten sera içerisinde bulunan gazometreye plastik borularla ulaştırılmıştır. Daha sonra gazometreden geçen gazın şofbene ulaşması sağlanmıştır. Gazometrede hem üretilen gazın miktarı belirlenmiş hem de basıncı artırılarak şofbende yakılması sağlanmıştır. Depodan şofbene pompalanan suyun burada ısıtılmasından sonra fan-coil’e ve oradan da depoya gönderilerek sirkülasyon işlemi tamamlanır. Bu döngü tekrarlanarak depodaki suyun sıcaklığının artması sağlanmış olmaktadır. Yaklaşık olarak suyun sıcaklığı 45 °C ulaştığında sistem otomatikman durdurularak fazla yakıt sarfiyatının önüne geçilmiş olmaktadır. Isısı artmış olarak gelen sıcak su, fan-coil’den geçerken sera havasının ısıtılması sağlanmıştır. Sera hava sıcaklığı, dış hava sıcaklığı, depo su sıcaklığı ve fan-coil üfleme sıcaklığının kıyaslamasının yapıldığı durum şekil 2.23’te görülmektedir. Isıtılan su ilk olarak fan-coil’den geçtiği için fan üfleme değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle sabah saatlerinden sonra fan-coil üfleme sıcaklığındaki düşüşler şekil 2.24’te de görüldüğü gibi güneş ışınlamından kaynaklanmaktadır. Bu saatlerde sera ortamı güneş ışınlamının etkisiyle de ısındığı için fan-coil zaman zaman durmaktadır. Sera sıcaklığı 23 °C’ye ulaştığında, termostadını bu değere ayarladığımız fan-coil stop ettiği için

hem sera sıcaklığı yükselmemekte hem de elektrik sarfiyatı azalmaktadır. Bu durum gece saatlerinde de sık sık mümkün olmaktadır. Ancak grafikte sadece 22:30 civarında görülmektedir. Aynı zamanda ısıtılmış olan depodaki su, biyogaz reaktör ısıtması için ikinci bir pompa yardımı ile serpantine pompalanarak biyogaz reaktörünün ısıtılması işleminde de kullanılmaktadır. Bu sayede ekstra bir ısıtma işlemine ihtiyaç duyulmadan serayı ısıtmak için kullanılan su ile gaz harcanmadan tasarruf sağlanmış olmaktadır.

2.2.3. Toprak ve Güneş Enerjileri İle Isıtma

Toprak altına yerleştirilen slinky (spiral) tipi ısı değiştirgeç sistemi sayesinde geceleri ve ihtiyaç duyulan her zamanda serayı ısı pompası aracılığı ile ısıtma işleminde başarı sağlandı. Bu hedefe ulaşılabilmesi için slinky tipi ısı değiştirgeç sistemine sıcaklığın eksiye düştüğü durumlarda suyun donmasını önlemek gayesi ile %20 oranında karıştırılan antifriz-su karışımı, toprak altı ile depo arasında P_1 devir daim pompası kullanılarak 0.1 kg/s'lik bir debi ile sirkülasyon yaptırıldı. Toprak altından toprak ısını alarak gelen su, toprak ve güneş ısı değiştirgeç tankının (depo) içerisine akıtılmıştır. Gelen suyun ısısı depo içerisine yerleştirilmiş olan ısı pompası buharlaştırıcısındaki (evaporatör) Freon 22 gazına aktarılmaktadır. Isı değiştirgeç tankında suyun ısını alan gaz, sistemdeki kompresör marifeti ile kompresörün de ısını alarak sera içerisindeki kondensere gönderilmektedir. Kondensere gelen gaz, sera içerisine üflenerek fan yardımı ile soğutulmuş olarak seranın ısıtılması sağlanmış olmaktadır. Burada soğutulan gaz ısı pompası ısı değiştirgeç tankı içerisindeki evaporatöre kompresör yardımı ile devir daim ettirilerek sirkülasyon sürekli hale getirilmiştir. Aynı zamanda da toprak ısı değiştirgeçindeki sirkülasyon işlemine de devam edildiği için pompaların çalışmasını sağlayan sistemin elektrik enerjisi kesilene ya da sera ortamının sıcaklığı belirlenen değere ulaşana kadar sistemdeki bu ısı döngüsü devam ettirilmektedir. Bu sayede sera ortamının sıcaklığı, otomasyon sistemiyle ayarlanmış olduğumuz yaklaşık 23°C'ye sürekli olarak ulaştırılarak sera ısıtılmıştır. Otomasyon sistemimiz 23°C sıcaklığa ayarlanmıştır ve sera ortamı sıcaklığı bu değere ulaştığı zaman kompresör otomatik olarak stop ettirilmektedir. Sera ortam sıcaklığı 20°C seviyesine düştüğü zaman sistem otomatik olarak devreye girerek tekrar evaporatörle kondenser arasında gaz sirkülasyonu sağlamaktadır. Bu sayede hem sera ortamının sıcaklığı belirli bir değerde sabitlenmekte hem de sistemin lüzumsuz yere çalışması engellenerek elektrik

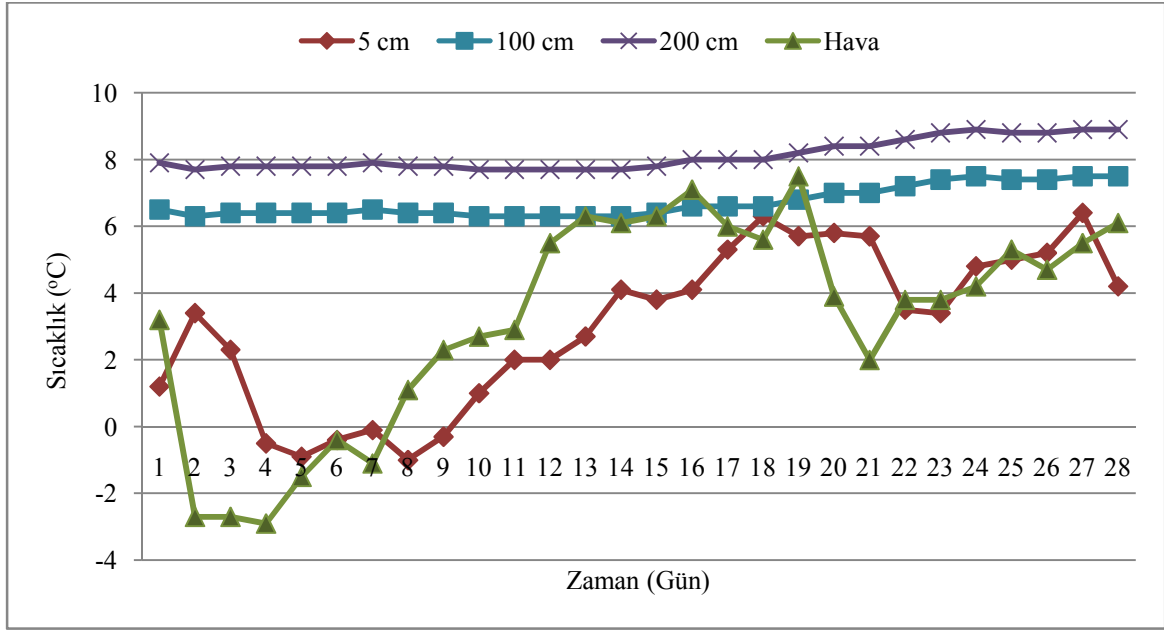
enerjisinden tasarruf edilmektedir. Gece ve güneş olmayan zamanlarda slinky (spiral) tipi toprak ısı değiştirgeç sistemimiz tek başına sera ortamının ısıtılmasında yeterli olmuştur. Bu amaçla sera ortamının ısıtılma işleminin yapıldığı aylık ve günlük olarak çizilmiş olan grafikler aşağıdaki şekillerde görülebilmektedir.



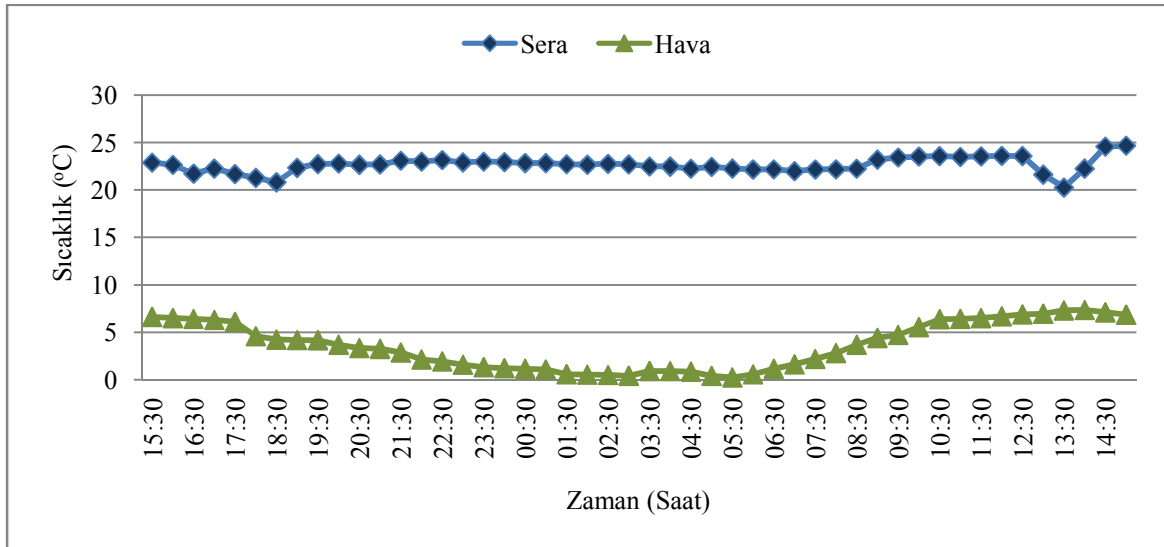
Şekil 2.25.Aylara göre 200 cm derinlikte ölçülen toprak sıcaklıkları

Şekil 2.25'te görülen aylara göre 200 cm derinlikte yapılan toprak sıcaklık ölçüm sonuçlarına dikkat edildiğinde, sıcaklıklarda ani değişiklikler söz konusu değildir. Bu durum toprağın iyi bir ısı kaynağı olduğunu göstermektedir. Şekil 2.26'da Şubat ayı için ölçülen toprak sıcaklıklarına göre çizilmiş olan grafik bu durumu destekler niteliktedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi toprak yüzeyine yaklaştıkça sıcaklık değerleri çok farklı değerler almaktadır. Toprağın üst kısımları hava koşullarından oldukça fazla etkilenmektedir.

Toprak sıcaklığında, deneysel çalışmalar esnasında 1 °C'ye kadar düşüşlerin kaydedilmiş olması toprağın iyi bir ısı kaynağı olduğunu ifade etmektedir. Deney derinliğini seçmiş olduğumuz 200 cm'de hava koşullarından etkilenme söz konusu değildir. Dolayısıyla soğuk kış günlerinde toprak ısı pompası aracılığıyla yapılan ısıtma işleminin beklenen sonuç olumlu olmuştur. Diğer aylar için de geçerli olan bu olumlu etki, hafriyat masraflarının artması nedeniyle deney derinliğinin daha aşağılara inmesini engellemektedir.



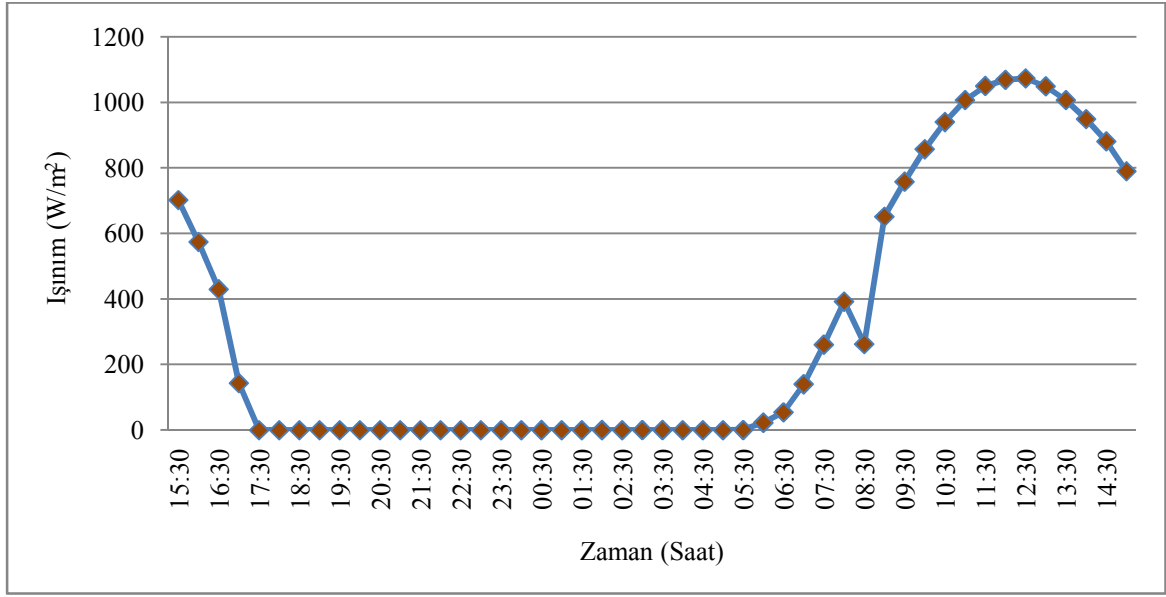
Şekil 2.26. Derinliğe göre Şubat ayı toprak ve hava günlük ortalama sıcaklık değişimleri



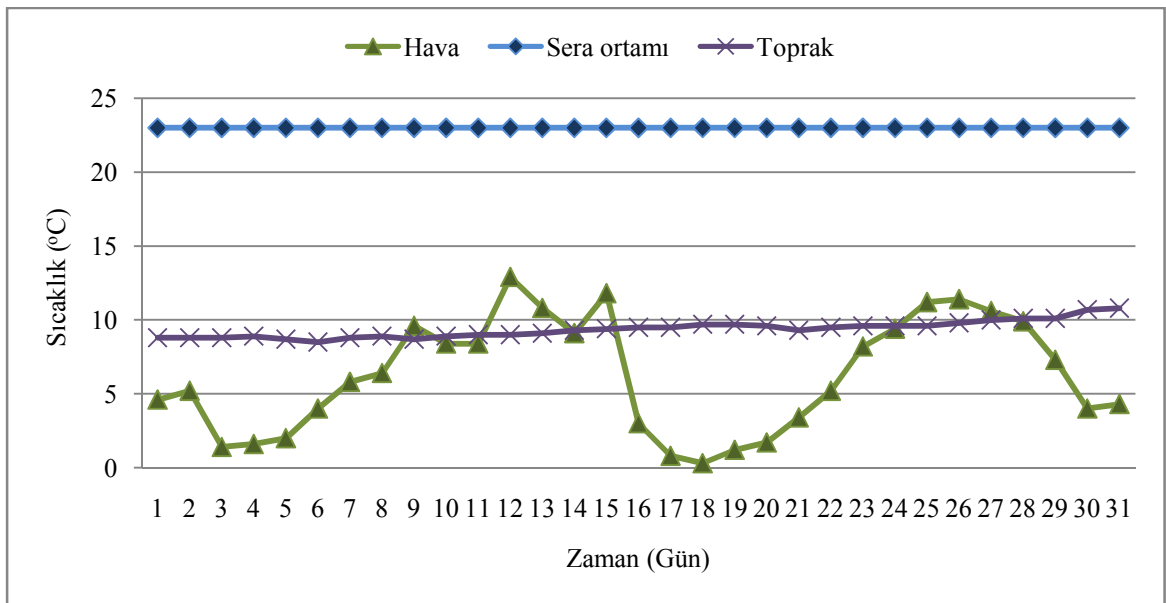
Şekil 2.27. 21-22 Mart günlerinde tespit edilen sera içi ve hava sıcaklıklarındaki değişim

21 Mart günü gün boyunca yapılan topraktan havaya ısıtma işleminde sera içi ve dış ortam sıcaklıklarının karşılaştırması şekil 2.27'de görülmektedir. Burada şekil 2.28'de görüldüğü gibi gün içerisinde ısı pompasının çalışmasına yaklaşık olarak saat 17:00 ile 09:30 saatleri arasında güneş ışınım değerlerinin yüksek olması sebebi ile ihtiyaç duyulmamaktadır. Dolayısıyla ısıtmaya gece saatlerinde ihtiyaç olduğu görülmüştür ve bu

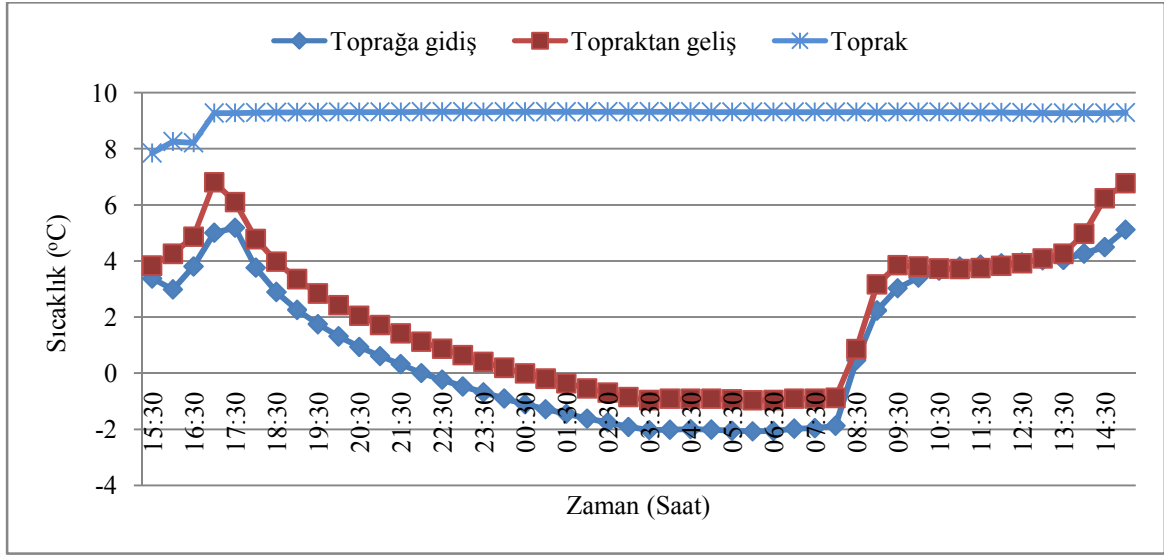
süre zarfında dış hava sıcaklığı 0 °C civarına yakın değerlerde iken sera içerisi ortalama 23 °C sıcaklıkta olduğu görülmektedir. Slinky (spiral) tipi toprak kaynaklı ısı değiştirgeci ile bu ısıtma işleminin mümkün olduğu görülmektedir. Şekil 2.29’da da 200 cm derinlikteki toprak sıcaklığı ile çok değişken olan dış hava koşullarına rağmen sera içerisinin neredeyse sabit bir değerde olması slinky (spiral) tipi toprak kaynaklı ısı değiştirgeci sisteminin sera ısıtmasında kullanılabileceğini desteklemektedir.



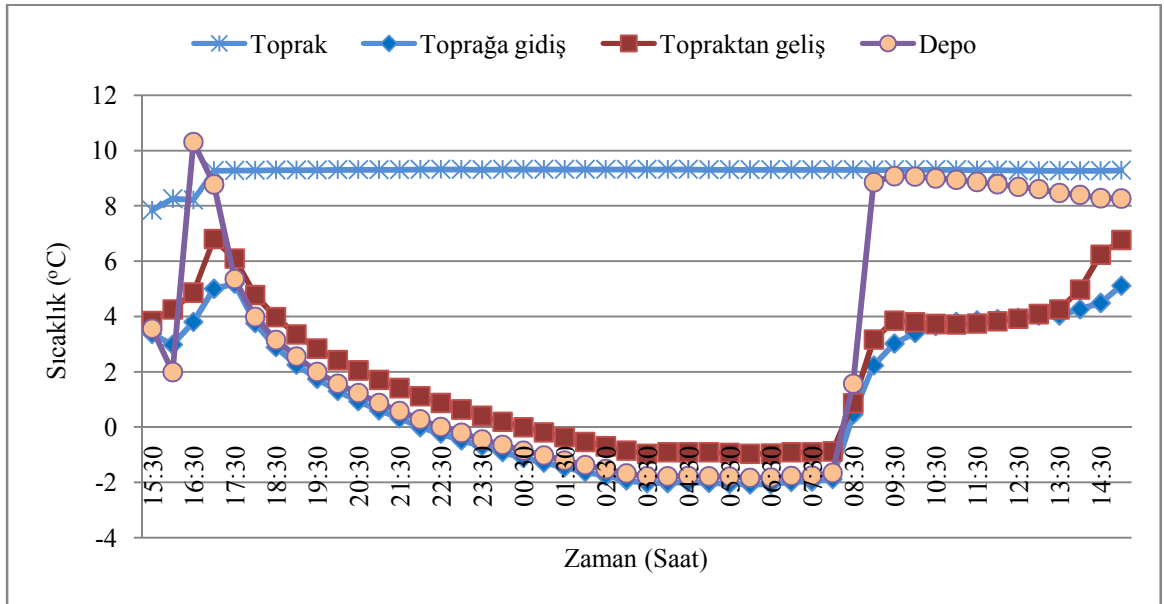
Şekil 2.28. 21-22 Mart günlerinde güneş ışınımındaki değişim



Şekil 2.29. Mart ayı hava, sera ortamı ve 200 cm'deki toprak ortalama sıcaklık değişimleri



Şekil 2.30. 200 cm toprak, topraktan geliş ve toprağa dönüş su sıcaklık değişimleri (21-22 Mart)

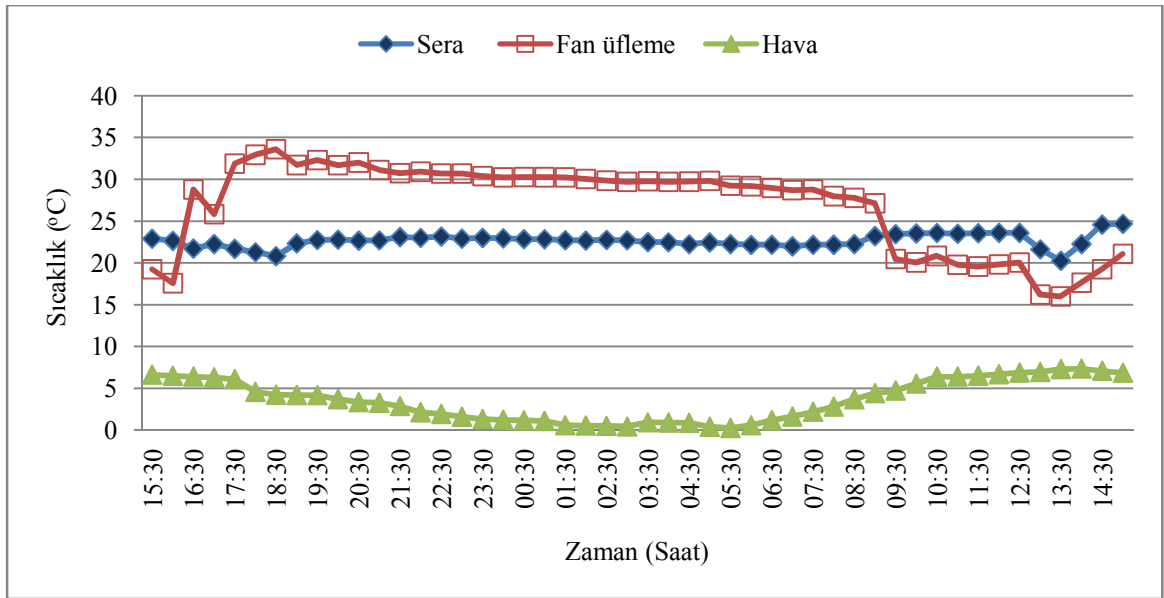


Şekil 2.31. 200 cm toprak, topraktan geliş ve depo su sıcaklık değişimleri (21-22 Mart)

Slinky tipi toprak kaynaklı ısı değiştirgeç sisteminde, toprak sıcaklığı sabite yakın bir değerde iken ısı pompası deposuna topraktan gelen ve toprağa dönen su sıcaklıkları şekil 2.30'da 21-22 Mart tarihleri için görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere topraktan yüksek sıcaklıkta gelen su, depo içerisindeki akışkana ısınıp sıcaklığını bırakarak toprak altına tekrar slinky sistemine pompalanmaktadır. 17:00 ile 09:30 saatleri arasında güneş ışınlamının olmaması, diğer zamanlarda güneş ışınlamı yardımı ile sera ısınmaya başladığı için ısı

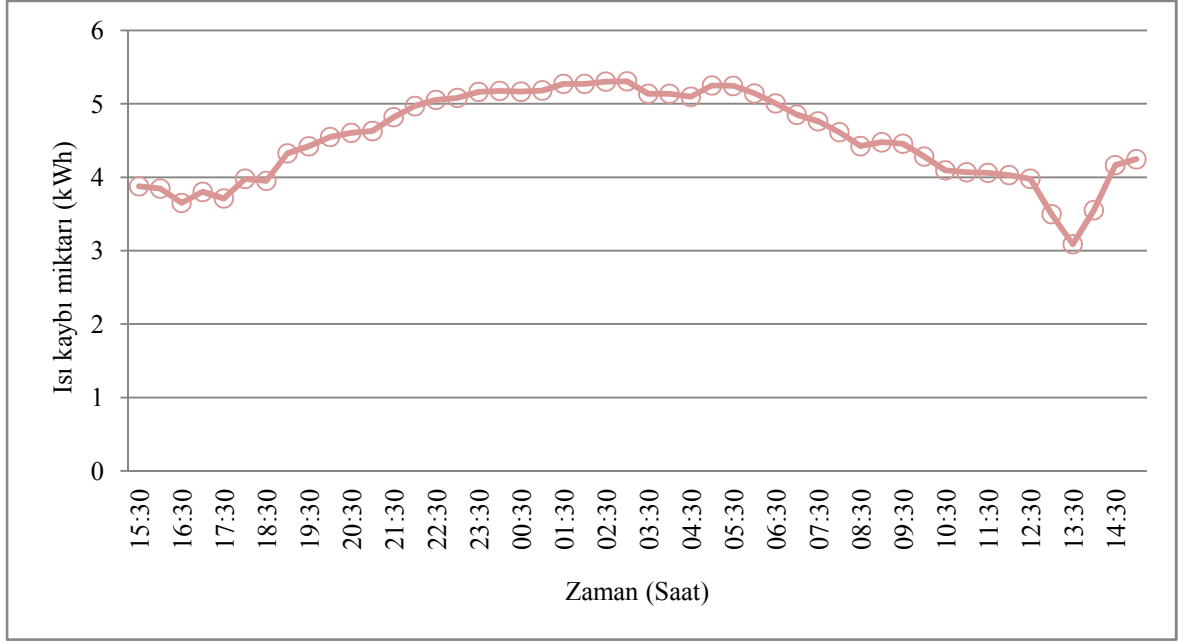
pompasının daha uzun süre stop etmiş halde beklemesi ve daha kısa süreler halinde çalışması sebebi ile topraktan gelen ve toprağa giden su sıcaklıklarının toprak sıcaklıklarına yaklaştığı görülmektedir. Toprak altındaki slinky tipi ısı değiştirgeç sisteminde daha uzun süre kalan su, bu haliyle toprak ısınıpı daha iyi bir şekilde depolayabilmekte ve depo haznesine daha yüksek sıcaklıkta aktarabilmektedir.

Şekil 2.31’de de benzer durum görülmektedir. Aynı tarihli çalışmada ısı pompası deposundaki akışkanın 17:00 ile 09:30 saatleri arasındaki ani sıcaklık yükselmeleri ve düşmeleri güneş ışıınının serayı ısıtması sebebi ile ısı pompasına olan ihtiyacı azalttığını ve ortadan kaldırdığını göstermektedir. Güneş ışıınının olduğu tüm günlerde aynı durum söz konusudur. Sera, hava ve fan üfleme sıcaklıklarındaki değişimin gösterildiği şekil 2.32’de de aynı durum görülmektedir. Sera ortamının istenilen sıcaklık değeriinde olması sebebi ile ısı pompası sistemi durmakta ve dolayısıyla fan üfleme sıcaklığı ortam sıcaklığına yaklaşmaktadır.



Şekil 2.32. Fan üfleme, sera ve dış hava sıcaklıklarındaki değişim

Yapmış olduğumuz çalışmada; sistem akşam 17:00 ve sabah 9:00 saatleri arasında çalışmaktadır. Sistem, güneş olduğu zamanlarda güneş ışıını etkisi ile ısındığı için seranın ısıtılmasına ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu nedenle grafikler genellikle bu saatler arasında incelenmiştir.



Şekil 2.33. 21-22 Mart'taki ısı kaybı değerleri

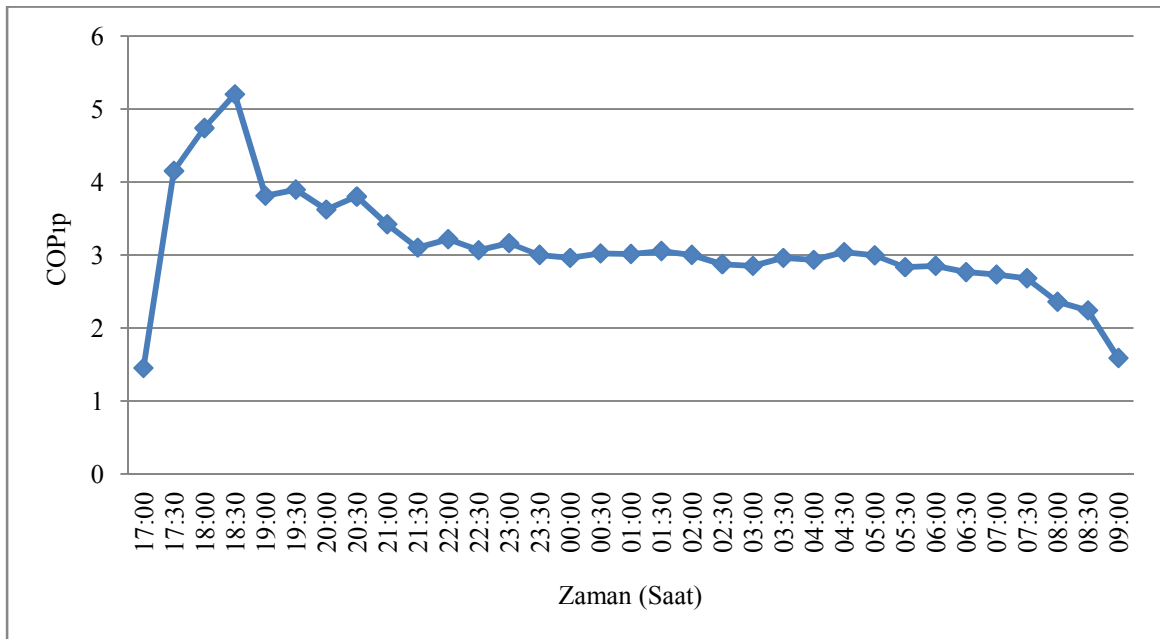
21-22 Mart tarihlerinde yapılan ölçümler sonucundaki kayıp ısı değerleri şekil 2.33'te görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi ortalama ısı kayıp miktarı 4.53 kWh olarak tespit edilmiştir. Hava sıcaklıklarının artması nedeniyle seradan olan ısı kaybı önceki aya göre düşüş göstermiştir. Çalışmalarımız için belirlediğimiz süre içerisinde ısı kayıp değerlerinin ortalaması alındığında; Ocak ayı ısı kaybının en fazla, Mart ayı ise ısı kaybının en az olduğu ay olarak tespit edilmiştir. Ortalama değerler Kasım 4.19, Aralık 4.72, Ocak 5.25, Şubat 4.75 ve Mart ayı da 3.77 kW olarak tespit edilmiştir.

İklim değişiklikleri sebebi ile kış aylarında da bölgemizde güneşli günlerin sayısının artmasından dolayı seraları ısıtmak için harcanacak enerji gittikçe azalmaktadır. Bu durumda bölgemizdeki seracılık açısından olumlu bir durum olarak görülmektedir.

Kurulmuş olan sistemi, güneş kolektörlerinden elde ettiğimiz enerjiyle ısıtma imkânına pek fazla sahip olamadık. Geceleri ve bulutlu günlerde sistemimizden güneş olmadığı için faydalanamadık. Ayrıca güneşli günlerde sera ortamı doğal olarak güneş enerjisi ile ısındığı için ısıtmaya ihtiyaç duyulmadığı gibi sera sıcaklığının yükselmesi sebebi ile havalandırma ihtiyacı oldukça fazla olmuştur. Bu sistemin çalışması ise şekil 2.19'da görülen toprak ve güneş ısı değiştirgeç tankı (depo) içerine yerleştirmiş olduğumuz ısı değiştirgecimizden aldığımız %20 oranındaki antifirizli suyumuzu P₂ sirkülasyon pompası sayesinde sera yakınında kurulan güneş kolektörlerine pompalanarak depodaki akışkanın ısıtılması biçiminde elde edilmektedir. Kolektörlerde ısınmış haldeki antifirizli

su, ısı değiştirgecinden pompalanan su ile yer değişimi sağlanarak depo içerisindeki ısı değiştirgecine ulaşmaktadır. Isınmış haldeki suyun ısısı, depo içerisindeki antifirizli suya aktarılması sonucunda depodaki suyun sıcaklığı yukselmektedir. Bu noktadan sonra ısı pompası sistemi toprak ısı değiştirgeç sistemi ile aynı şekilde çalışmaktadır.

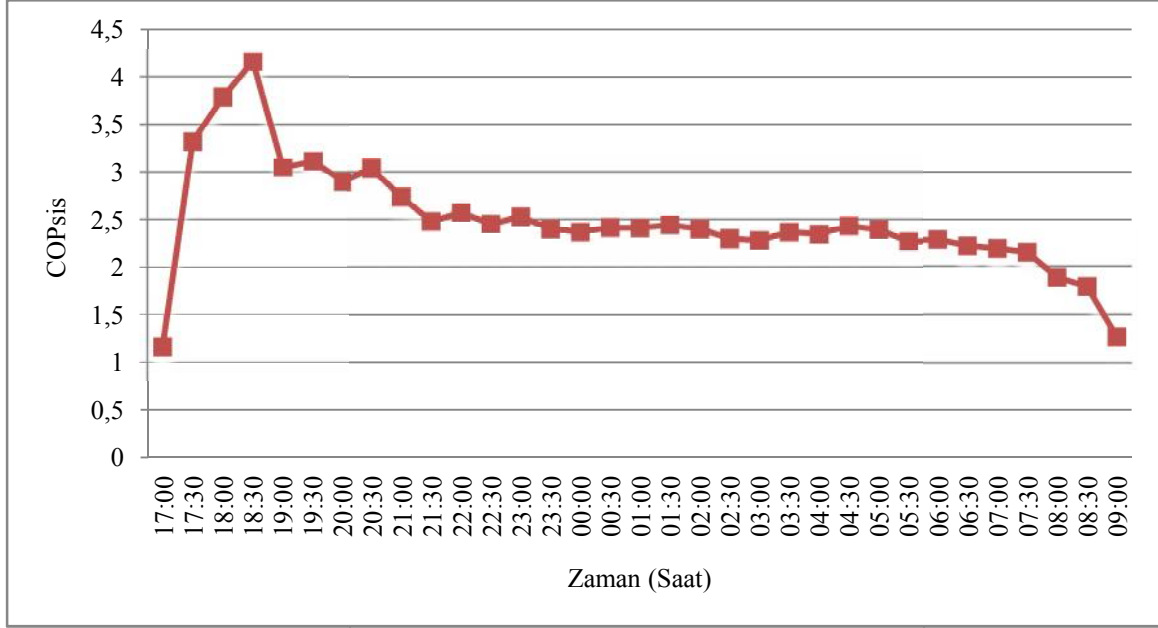
Kurulan otomasyon sistemi marifeti ile güneş enerjisinden gelen suyun sıcaklığı 20°C'ye düşmediği müddetçe ısı değiştirgeç tankı ile güneş kolektörleri arasındaki P₂ sirkülasyon pompasının sirkülasyonu devam etmektedir. Bu sebeple sera ısıtma işlemi gerçekleştirilirken güneş enerjisindeki suyun sıcaklığı 20°C'ye ulaştığı zaman slinky (spiral) tipi toprak ısı değiştirgeç sistemini çalıştıran P₁ pompası otomatik olarak durmakta ve güneş enerjisi sistemi devreye girmektedir. Sera ortam sıcaklığı belirlenmiş olan sıcaklığa ulaştığı zaman bütün sistemler durmakta ve böylece en az düzeyde enerji sarfıyatı gerçekleşmektedir. Zaten seracılıkta istenen en önemli hedeflerden biri de budur, en az enerji sarfıyatı ile daha yüksek kazancın elde edilebilmesidir. Isı pompası ile yapılan deneysel çalışmalar esnasında elde edilen ölçümlerde kompresörün 1.8 kW, tüm sistemin ise 2.25 kW enerji harcadığı tespit edilmiştir.



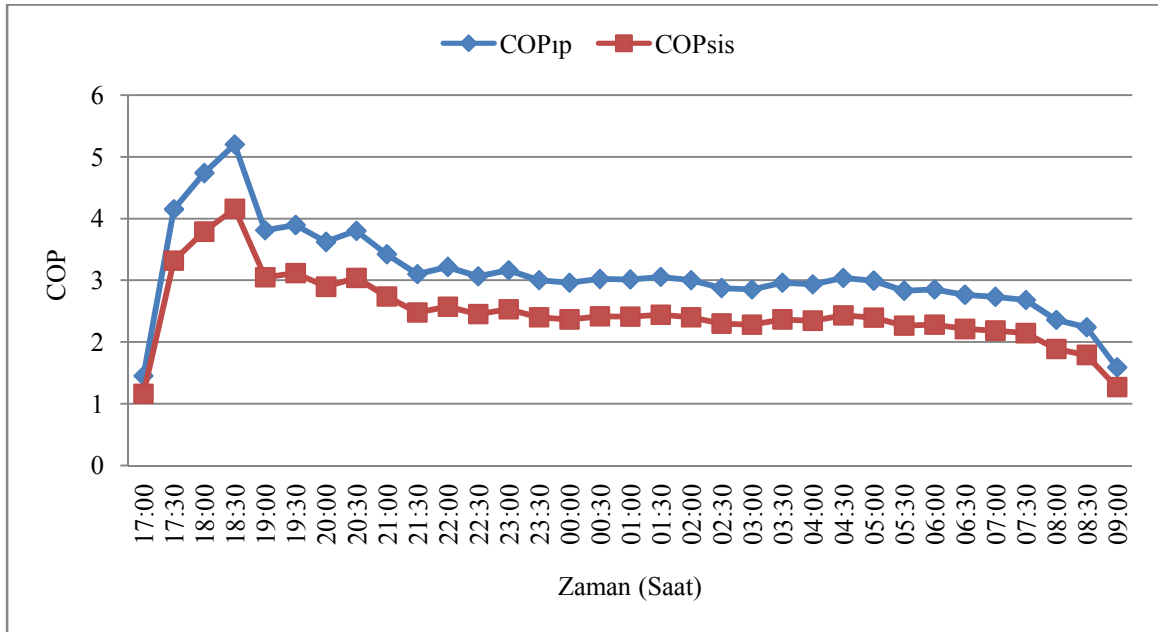
şekil 2.34. Isı pompası COP değerleri (21-22 Mart)

Akşam 17:00 ile sabah 9:00 saatleri arasında 21-22 Mart tarihinde yapılan çalışmada şekil 2.34 ve 2.35'te ısı pompası ve sistem için COP değerleri elde edilmiş olan veriler ışığında belirlenmiştir. Her iki grafiğin birlikte değerlendirmesi şekil 2.36'da

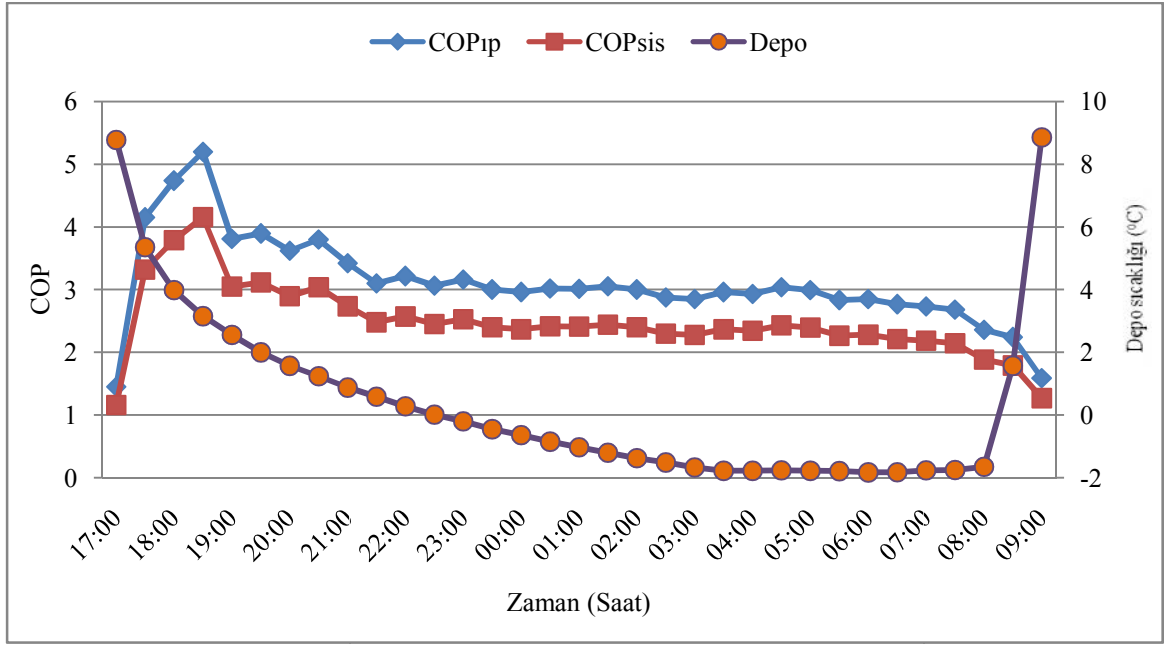
görülmektedir. Sistemde var olan slinky (spiral) tipi toprak ısı değiştirgeç sirkülasyon pompası ve kondenser fanının çekmiş oldukları enerji, sistemin COP değerinin daha düşük çıkmasına neden olmaktadır. COP değeri ısı pompası için ortalama 3.10 ve ısı pompası sistemi için ortalama 2.48 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 2.35. Sistem COP değerleri (21-22 Mart)



Şekil 2.36. Isı pompası ve sistem COP değerlerinin değişimi



Şekil 2.37. Depo sıcaklığı ile COP değerlerindeki değişim

Şekil 2.37’de de görüldüğü gibi COP değerlerinin ilk anlarda çok farklı olması sistemin çalışmaya başladığı ilk saatlerdeki ısı ihtiyacının azlığından kaynaklanmaktadır. Güneş ışıınım etkisi ile sera ortamının ısınmış olması sebebiyle ilk saatlerde topraktan elde edilen ısıнын sera ortamına aktarılması sırasındaki COP değeri yüksek olmasına neden olmaktadır. Sabah saatlerindeki depo su sıcaklığının ani olarak yükselmesinin sebebi ise, güneş ışıınımının etkisi ile toprak ısı değıştirgeç sisteminin durup güneş ısı değıştirgeç sisteminin devreye girmesi şeklindedir. Çünkü güneş enerjisi sistemindeki su sıcaklığının 20 °C’ye ulaşması, toprak ısı değıştirgeç sistemin durdurulmasına neden olmaktadır ve güneş enerjisi ile daha yüksek depo sıcaklıklarına ulaşılmaktadır. Aynı zamanda güneş enerjisi sayesinde sera ortamının sıcaklığının da istenilen değere ulaşması nedeni ile kısa bir süre içerisinde tüm ısıtma sistemleri durmaktadır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışmamızda, 24 m² büyüklüğünde kurmuş olduğumuz bir seranın biyogaz, güneş ve toprak enerjisi kaynaklarıyla ısıtılması işlemi yapılmıştır.

Kurulan serada saydam malzeme olarak çeşitli yüzeylere uygulama imkânı olan, esnek, uzun ömürlü, ısı yalıtkanlık özelliği olan, bir yüzeyinin ultraviyole ışınlarla karşı dayanımının arttırılmış olması, % 90 saydamlık özelliğine sahip ve camdan 6 kat daha hafif olan polikarbonat halk arasındaki ismi ile polikarbon malzeme tercih edilmiştir.

Yapılan çalışmada, hazır ısı pompası maliyetinin yüksek olmasından dolayı maliyetleri düşürmek için bir ısı pompası tasarlanmış ve imal edilmiştir.

Deneylerimizde, birçok bitkinin yetişmesi için gerekli olan 23 °C'lik sıcaklık değeri tercih edilmiş ve kurmuş olduğumuz sistemlerle bu değere ulaşmada başarı sağlanmıştır.

Biyogazın elde edilmesinde, üreteç sıcaklığı oldukça önem arz etmektedir. Düşük sıcaklıkta metan oluşumunun mümkün olduğunu, ancak uzun zaman gerektiği ve kısa bekleme süreleri için yeterli miktarda üretim olmadığı tespit edilmiştir. Değişken olmayan sıcaklık şartlarında ve mezofilik bölge sınırları içerisinde çalışan kesikli besleme yöntemi ile 2231.83 litre gaz üretimi sağlanmıştır. Ani sıcaklık değişimlerinin metan oluşumunu olumsuz olarak etkilediği bilindiği için üreteç sıcaklığımız yaklaşık 27 °C'de sabit tutulmaya çalışılmıştır ve başarı elde edilmiştir. Elde edilen biyogazla kurulmuş olan seranın sıcaklığı yaklaşık 23 °C'ye ısıtılmış ve bu sıcaklık değerinde tutulabilmektedir.

Sera sıcaklığı, yetiştirilecek bitkilerin büyük çoğunluğu 23 °C ve daha düşük sıcaklıklarda yetiştiği için sera sıcaklığımız bu değere ayarlanmaya çalışıldı ve kurulmuş olan sistemler marifetiyle bu hususta başarı elde edilmiştir. Elde edilen değerler ışığında çizilen grafiklerde de bu durum görülmektedir.

Toprak altına yerleştirmiş olduğumuz slinky (spiral) tipi toprak ısı değiştirgeç sistemi sayesinde, kurulmuş olan seranın sıcaklığı 23 °C'ye ısıtılmasında başarı elde edilmiştir.

Değişik toprak derinliklerinde yaptığımız sıcaklık ölçümlerinde, toprak derinliği arttıkça toprak sıcaklığının daha sabit bir değere yaklaşması ve bu değer yüksek olması yaptığımız kazı derinliğinin önemini kanıtlar niteliktedir. Slinky (spiral) tipi ısı değiştirgeç sistemi derinliğinin 200 cm olarak tercih edilmesi, tespit edilen ve grafiklerden görüldüğü gibi toprak sıcaklığının daha sabit olması sera ısıtılmasındaki başarıyı sağlamış ve kazı maliyetlerinin yüksekliğini bertaraf etmiştir.

Toprak sıcaklığında, deneysel çalışmalar esnasında 1 °C'ye kadar düşüşlerin kaydedilmiş olması toprağın iyi bir ısı kaynağı olduğunu ve slinky (spiral) tipi ısı değiştirgeç sisteminin kullanılabilirliğini ifade etmektedir.

Olumlu sonuçlar COP değerlerinde de görülmektedir. Isı pompası için ortalama COP değeri 3.10 ve ısı pompası sistemi için ortalama 2.48 olarak tespit edilmiştir.

Çalışmamızı kararlaştırdığımız süre zarfında seradaki ısı kayıpları belirlendiğinde, ısıtma ihtiyacının en fazla olduğu ay Ocak en az olduğu ay ise Mart olarak belirlenmiştir. Ortalama değerler; Kasım 4.19, Aralık 4.72, Ocak 5.25, Şubat 4.75 ve Mart ayı da 3.77 kW olarak tespit edilmiştir. Tüm süre zarfında yapılan ısıtma işlemlerinde seranın ısıtılmasında başarı sağlanmıştır.

Güneş enerjisi ile olan ısıtma sisteminde sera, doğrudan güneş ışığı ile ısındığı için, bulutlu ya da gece saatlerinde de güneş ışığı olmaması nedeniyle deneylerimizde istenilen düzeyde bir çalışma yapılamamıştır.

Biyogazı kullanarak yaptığımız ısıtma işleminde hem seranın ısıtılması hem de üreticinin ısıtılması imkânı sayesinde gazdan tasarruf etme olanağı mevcut olmuştur.

Slinky (spiral) tipi toprak ısı değiştirgeç sistemi ile yapılan ısıtma işleminde, daha az yer kaplayan ve uzun boru uygulamaları için müsait olan bu sistemin sera ısıtmasında kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

Hem slinky (spiral) tipi toprak ısı değiştirgeç sistemi hem de biyogazla ısıtma sistemi tek başına veya birlikte kullanılmaları sonucunda seraları ısıtmalarının mümkün olduğu görülmektedir. Bu kabiliyetleri sebebi ile özellikle çok soğuk günlerde sistemlerin birlikte kullanımı sonucunda sera ortamları, istenilen sıcaklık değerine rahatlıkla ulaştırılarak bu sıcaklık değerinin muhafaza edilmesi kolaylıkla sağlanacaktır.

Seracılık, tespit edilen toprak sıcaklık değerleri ve iklim değişikliklerinin etkisi ile kış aylarında da güneşli günlerin sayısının artmasından dolayı bölgemizde ilerleyen bir iş sahası olacağı görülmektedir. Tespit edilen veriler ışığında seraları ısıtmak için harcanacak enerji miktarının gittikçe azalacak olması bölgemizdeki seracılığın yaygınlaşması açısından olumlu olarak görülebilir. Slinky (spiral) tipi toprak ısı değiştirgeç sistemiyle tüm çiftçiler, özellikle de sınırlı toprak alanına sahip olan çiftçiler için olumlu bir çözüm olacağı göz ardı edilmemelidir. Biyogaz tesisinden gerek gaz, gerek gübre, gerekse elektrik elde etme imkânları nedeniyle maliyetleri daha aşağı çekecek olması, seracılığın bölgemizde gelişmesine katkı sağlayacaktır.

4. ÖNERİLER

Biyogazla elektrik üretme işleminde kullanılacak motorun soğutma sisteminden elde edilecek sıcak su, hem üreteç ısıtmada hem de diğer sistemlerin ve ortamların ısıtılması esnasında kullanılarak motor soğutma suyunun soğutulması sağlanabilir. Bu sayede elde edilecek enerjinin faydalı alanlara aktarılması üzerine çalışılabilir.

Slinky (spiral) tipi toprak ısıtma sistemi, soğutma amaçlı çalışmalarda da kullanılabilir. Aynı zamanda bu sistemle daha büyük ölçekli ortamları ve çeşitli uygulama alanlarını ısıtmak ve soğutmak için kullanılma imkânları üzerine çalışılabilir.

Güneş enerjisinden elde edilecek ısı, toprak altına yerleştirilecek sistemler sayesinde hem depolanabilir hem de toprak ısıtma sisteminin kendisi veya çevresi ısıtılarak toprak ısınıpı yükseltmek için kullanılabilir. Aynı anda üreticin ısıtılmasında da kullanılabilir.

Güneş panelleri kullanılarak güneş enerjisinden veya bölgenin rüzgâr özelliği göz önünde bulundurularak kurulacak rüzgârla elektrik enerjisi üretme sistemlerinden sağlanacak enerji ile sistemlerin ve tesisin elektrik ihtiyaçları karşılanması üzerinde durulabilir.

KAYNAKLAR

- Afacan, H.**, 2008. Küçük ölçekli sürekli beslemeli bir biyogaz tesisinin çalışma şartlarının belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- Alçıçek, A. ve Demiruluş, H.**, 1994. Çiftlik gübrelerinin biyogaz teknolojisinde kullanılması, *Ekoloji Çevre Dergisi*, Ekim-Kasım-Aralık Sayı:13, s. 5-9
- Akbulut, A., Kurtbaş, İ. ve Gülçimen, F.**, 2005. toprak kaynaklı ısı pompası destekli bir biyogaz sisteminin sera ısıtmasında kullanımının deneysel olarak incelenmesi, *Mühendis ve Makina*, cilt:47, Sayı:555, s. 50-61
- Ardıç, İ. ve Taner, F.**, 2004. Tavuk gübresindeki katı maddenin sudaki çözünürlüğüne asidik önışlemlerin etkileri, *Ekoloji* 14,53, s. 39-43.
- Arıkan, B.**, 2008. Organik evsel katı atıklardan anaerobik ortamda biyogaz üretiminin verimliliğinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana
- Ataman, H.**, 1991, Toprak Kaynaklı Isı Pompası Tesisinin Tasarım ve Optimizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Avşar, Y.**, Atık su arıtımında ileri teknolojiler ve bir model olarak sakının örneği, www.cem.yildiz.edu.tr/3-menu_icerikleri/4-arastirma-gelistirme/bilimsel_toplantilar/bolum_seminerleri/seminer_8.pdf, 15 Mart 2010.
- Bilgin, N.**, 2003. Biyogaz nedir?, *Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü*, Ankara www.khgm.gov.tr/kutuphane/BIYOGAZ/BIGAZ.HTM, 21 Mart 2010
- Bose, J. E. ve Parker, J.D.**, 1983, "Ground coupled heat pump research." ASHRAE Transactions, V.89.
- Buğutekin, A.**, 2007. Atıklardan biyogaz üretiminin incelenmesi, *Doktora Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Buğutekin, A., Yılmaz, M. ve Binark, A.K.**, 2008. Atık karıştırıcı geometrisinin biyogaz üretimine etkisi, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, UTES' 2008, İstanbul, 17-19 Aralık, s. 173-180
- Çağlayan, E., Ataç, Ö. ve Çoban, V.**, 2009. Biyoenerji her yerde, *Bilim Teknik Dergisi*, Mayıs 2009 Yıl 42 Sayı 498, s. 40-45

- Dikici, A.**, 2004. Güneş, hava ve toprak enerjisi kaynaklı ısı pompasının Elazığ şartlarında konut ısıtması için kullanımının deneysel olarak araştırması, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Entürk, E., Yetilmezsoy, K. ve Öztürk, M.**, 2006. Design of fixed-dome Chinese type biogas reactor in treatment of manure wastes: a typical application, *Journal of Engineering and Natural Sciences, İstanbul, Sigma* 2006/3, s.119-127
- Erdoğan, S., Yılmaz, M., Şahin, B. ve Özyurt, Ö.**, 2006. Isı pompası sistemlerinin seçimi, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, Sayı: 92, s. 40-49.
- Eryaşar, A.**, 2007. Kırsal kesime yönelik bir biyogaz sisteminin tasarımı, kurulumu, testi ve performansına etki eden parametrelerin araştırılması, *Doktora Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- Esen, H.**, 2001. Elazığ iklim şartlarında yatay borulu toprak kaynaklı ısı pompası tasarımı, *Yüksek Lisans Semineri*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
- Esen, H., İnallı, M. ve Esen, M.**, 2003. Yatay toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin deneysel uygulaması, *Mühendis ve Makina*, Sayı:523, s. 29-35
- Fisher, T. ve Krieg, A.**, 2009. Biogas www.kriegfischer.de/texte/Vorlesung_Biogas_3_081211_Technik.pdf, 15 Mart 2010.
- Fischer, T. ve Krieg, A.**, 2002, Farm-Scale Biogas Plants, Krieg & Fischer Ingenieure GmbH, www.kriegfischer.de/texte/farmscale%20biogas%20plants.pdf, 15 Mart 2010.
- Ghosal, M.K. ve Tiwari, G.N.**, 2005. Parametric studies for heating performance of an earth to air heat exchanger coupled with a greenhouse, *International Journal Of Energy Research*, 29, s.991-1005
- Gül, N.**, 2006. Tavuk gübresinden biyogaz üretim potansiyelinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta
- Günhan, T.**, 1998. Seraların düşük sıcaklıktaki akışkanlarla ısıtılma teknikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- Hepbaşlı A.**, 1985. Isı pompası sistemleri ve konut ısıtılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Karaosmanoğlu, F.**, 2004. Biyogazın diğer yakıtlarla karşılaştırılması, www.biyogaz.com/bgdyk.htm, 15 Nisan 2010.

- Koçar, G., Eryaşar, A., İllez, B. ve Atayol, A.A.**, 2007. Güneş enerjisi destekli biyogaz sistemleri, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, Sayı:98, s.19-26
- Öztuncay, M.K.**, 2009. Türkiye’de biyogaz enerjisinin kullanılabilirliği ve ekonomikliğı, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Öztürk, B. ve Okumuş, E.**, 2008. Biyogaz üretimi ve yakıt kalitesinin yükseltilmesi, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, UTES’ 2008, İstanbul, 17-19 Aralık, s. 187-195
- Öztürk, M.**, 2005. Hayvan gübresinden biyogaz üretimi, *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara
- Pehlivan, E.**, 2009. Biyogaz ve biyogaz uygulamaları, www.emo.org.tr/ekler/0d936dc2a4718f8_ek.pdf, 25 Mart 2010.
- Sauer, H.J. ve Howell, R.H.**, 1983. Heat Pump Systems. John Wiley& Sons
- Sethi, V.P.**, 2009. On the selection of shape and orientation of a greenhouse for composite climates, *International Journal of Sustainable Energy*, Vol. 28, s.45-58
- Shukla, A., Tiwari, G.N. ve Sodha, M.S.**, 2006. Thermal modeling for greenhouse heating by using thermal curtain and an earth–air heat exchanger, *Building and Environment*, 41, s. 843-850
- Şerit, G., Yiğit, K.S., Gündüz, M., Şengün, R.B. ve Toraman, Ö.**, 2009. İki fazlı biyogaz üretim tesislerinde gaz üretimine etki eden parametreler, *EVK 2009, 3. Enerji Verimliliğı ve Kalitesi Sempozyumu Bildirileri*, Kocaeli, 21-22 Mart, s. 232-237
- Tokgöz, B.**, 2006. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve sera ısıtmasına uygulanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Tiwari, G.N., Akhtar, M.A., Shukla, A. ve Khan, M.E.**, 2005. Annual thermal performance of greenhouse with an earth–air heat exchanger: an experimental validation, *Renewable Energy*, s.1-15
- Tolay, M., Yamankardeniz, H., Yardımcı, S ve Reiter, R.**, 2008. Hayvansal atıklardan biyogaz üretimi, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, UTES’ 2008, İstanbul, 17-19 Aralık, s. 259-264
- Usmani, J.A., Tiwari, G.N. ve Chandra, A.**, 1996, Performance characteristic of a greenhouse integrated biogas system, *Energy Convers. Mgmt*, Vol. 37, 9, s. 1423-1433

- Tuluk, C.**, 2007. Çeşitli substratların anaerobik şartlar altında metan ve hidrojene dönüşüm potansiyellerinin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana
- Türker, M.**, 2008. Anaerobik biyoteknoloji ve biyogaz üretimi dünya’da ve Türkiye’de eğilimler, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, UTES’ 2008, İstanbul, 17-19 Aralık, s. 305-312
- Yılmaz, S.**, 1996. Biyogaz üreteçlerinde ısı borulu güneş kolektörü ile enerji planlaması, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Yılmaz, V.**, 2000. Toprak kaynaklı ısı pompasının klasik sistemlerle tekno-ekonomik karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Yiğit, K.S., Gündüz, M., Şerit, G. ve Şengün, R.B.**, 2009. İki fazlı çalışan biyogaz üretim tesisi, *EVK 2009, 3. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu Bildirileri*, Kocaeli, s.238-241
- Yüksel, A. N.**, 1989. Sera Planlaması ve Yapımı, Türkiye Ziraat Donatım Kurumu Mesleki Yayınları, Ankara.
- Yüksel, A. N., Korkut, A. B., Kaygısız, H.**, 1993. Sera Üreticisinin El Kitabı, Hasat Yayıncılık, İstanbul.
- Yüksel, T.**, 2006. Isı pompaları, Doktora Semineri, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Elazığ Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, 2009 ve 2010 Yılları Meteorolojik Verileri.
- Tübitak MAM, 2007. Bitkisel ve hayvansal atıklardan biyogaz üretimi ve entegre enerji üretim sisteminde kullanımı (biyogaz), Tübitak Kamu Kurumları Araştırma ve Geliştirme Projeleri Destekleme Programı, Proje geliştirme özeti, Rapor No:1, 15.10.2007
- MEGEP, 2007. Sera yapım tekniği, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Modül Kitapçığı, Ankara 2007.
- URL-1, www.eie.gov.tr/turkce/YEK/biyoenerji/01-biyogaz/bg_nedir.html. 25 Mart 2010.
- URL-2, www.soleaenerji.com/biyogazenerji.asp, 25 Mart 2010.
- URL-3, www.biyogaz.org.tr/proje_genel_blg.asp, 25 Mart 2010.
- URL-4, www.tarimsal.com/biyogaz/biyogaz.htm, 25 Mayıs 2010.
- URL-5, www.cem.yildiz.edu.tr/3-menu_icerikleri/4-arastirma-gelistirme/bilimsel_toplantilar/bolum_seminerleri/seminer_8.pdf, 15 Mart 2010.

URL-6, www.bercarbon.ee/centrigas.pdf, 15 Haziran 2010.

URL-7, www.biolak.de/version-e/pb-g-centrigas.htm, 15 Haziran 2010.

URL-8, Özgür ansiklopedi http://tr.wikipedia.org/wiki/Is%C4%B1_Pompas%C4%B1, 25 Nisan 2010.

URL-9, <http://heatpumpcentre.org/en/aboutheatpumps/heatsources/Sidor/default.aspx>, 10 Şubat 2010.

URL-10, <http://www.forumpaylas.net/ziraat-tarim-hayvancilik/48695-sera-ve-seracilik-hakkinda.html>, 25 Şubat 2010.

ÖZGEÇMİŞ

Tahsin YÜKSEL; 30.04.1972 yılında Elazığ'da doğdu. İlk ve ortaokulu Harput'ta tamamladı. Lise öğrenimini 1989 yılında Elazığ Endüstri Meslek Lisesi Motor Bölümünde tamamladı. Aynı yıl Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı'nda Milli Eğitim Bakanlığı tarafından burslu olarak lisans eğitime başladı. 1993 yılı Haziran ayında lisans eğitimini tamamlayarak Otomotiv Öğretmenliği branşında mezun oldu. 01.10.1993 tarihinde Elazığ Endüstri Meslek Lisesinde Motor Öğretmeni olarak göreve başladı. 1994-1995 yıllarında askerlik hizmetini kısa dönem erbaş olarak yaptı. 1997 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitime başladı ve 1999 yılında eğitimini tamamladı. 2000 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümü Enerji Anabilim Dalı'nda Doktora eğitime başladı ve eğitime devam etmektedir. Halen Elazığ Endüstri Meslek Lisesi Motorlu Araçlar Teknolojisi Alanı Öğretmeni olarak görevine devam etmekle beraber son iki yıldır Milli Eğitim Bakanlığı Erkek Teknik Öğretim Genel Müdürlüğü tarafından Motorlu Araçlar Teknolojisi Alanında program koordinatörü olarak program geliştirme çalışmalarında görevlidir. Evli ve iki çocuk babasıdır.