

1. GİRİŞ

Hayvan katı atıkları gübre olarak veya kurutulduktan sonra yakıt kaynağı şeklinde tarih boyunca kullanılmıştır. Geçtiğimiz yıllardaki çiftlik kapasitelerinde ve dolayısıyla gübre miktarlarındaki büyük artışlar nedeniyle gübreden kaynaklanan çevre problemleri gündeme gelmiştir. Hayvan atıklarından kaynaklanan çevre sağlığı sorunları bazı endüstriyel atıklar dolayısıyla oluşan problemler kadar zararlı olabilmektedir. Özellikle yüzey sularının alıcı ortama drenajı, tarımdan dönen sular ve hayvan atıklarının nihai depolama alanı olarak kullanılan araziler su kirliliğinin başlıca kaynakları olarak ortaya çıkmaktadır. Fosil yakıtların azalması dolayısıyla karşılaşılabilecek enerji krizi hayvan atıklarından kaynaklanan çevre problemleri ile birlikte düşünüldüğünde ise her iki olgunun ileriye yönelik olarak birlikte ele alınmasının avantajlı olduğu görülmüştür. Hayvan atıkları için çevresel açıdan kabul edilebilir bertaraf yöntemleri büyük ölçekte biyokütle-enerji dönüşüm sistemi olarak dikkate alındığında bu atıklardan enerji elde edilmesi ve ayrıca yan ürün şeklinde besin değeri olan gübre elde edilmesi de mümkün olmaktadır.

Ülkemizdeki gelişen tarım ve entegre hayvan çiftlikleri sayı ve kapasitelerindeki artışlar nedeniyle kaynaklanan çevre sorunlarına bu çalışma kapsamında ekonomik ve uygulanabilir çözümler üretilmesi amaçlanmıştır. Bölgelerdeki hayvan sayıları, hayvan atıklarından kaynaklanan çevre problemleri dikkate alındığında projenin fizibilite çalışmaları için *Pilot Bölgeler* seçilmiştir. Bu kapsamda seçilen pilot bölgeler olan

- *Kayseri*
- *Çorum*
- *Manyas*

İlçe ve illerindeki hayvan çiftliklerinde oluşan atıkların havasız çürütme, kompostlama ve gazlaştırma prosesleri için fizibilite çalışmaları yapılması uygun görülmüştür. Bu bölgelerdeki hayvan atıklarının örnekleme ve karakterizasyon çalışmaları değerlendirildiğinde

Kayseri için havasız çürütme, Çorum için kompostlama, Manyas için ise gazlaştırma

proseslerinin en uygun çözüm seçenekleri olduğu sonucuna varılmıştır. Fizibilite çalışmalarında her üç proses için pilot bölgelerde tesis tasarımı yapılmış, söz konusu tesislerin maliyet analizleri gerçekleştirilmiş, tasarım, yapım ve işletme aşamalarında uygulanması gereken kriterler belirlenmiştir. Çalışma kapsamında özellikle Avrupa Birliği'ndeki hayvan atıkları konusundaki uygulamalara yer verilmiştir.

Sonuç olarak, hayvan atıklarının potansiyel bir enerji kaynağı şeklinde görülmesi, bu atıkların sebep olduğu çevre sağlığı problemlerinin başarılı planlama, uygulama ve işletme metodolojisi ile çözülebileceği, çevre sağlığı sorunlarının bertarafı yanında önemli ölçüde enerji ve kompost/toprak şartlandırıcısı üretilabileceği pilot bölgeler bazında gösterilmiştir. Bu uygulamalar ile tesislerin ilk yatırım giderlerinin makul süreler sonunda geri döndürülebileceği ve bu aşamadan sonra tesisin karlı duruma gelebileceği vurgulanmıştır.

2. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

2.1. Araştırma yönteminin tanımı

Çalışma kapsamında ülkemizdeki hayvan üretim potansiyeli ve bu potansiyeldeki olası gelişmeler belirlenmiştir. Hayvan atıklarının sebep olduğu çevre sorunlar, üretim kapasitesi ve bölgenin hassaslık yapısı dikkate alınarak ülkemiz genelinde fizibilite çalışmalarını uygulamak için üç pilot bölge seçilmiştir. Bölge seçiminde üretim türüne göre her türlü hayvan gübresinin çalışma bütününde kapsama alınmasına dikkat edilmiştir.

Fizibilite çalışmalarına baz oluşturmak amacıyla söz konusu bölgelerde data toplama çalışmaları yapılmıştır. Bölgelerdeki hayvan atıkları ve mevcut uzaklaştırma yöntemleri konularındaki bilgilerin uyumlu bir şekilde derlenmesini sağlamak amacıyla bir anket formu hazırlanarak üreticilere verilmiştir. Anket formunun bir örneği Ek-I'de verilmiştir. Ayrıca, her üç bölgede bulunan büyükbaş/küçükbaş hayvan ahırları ile tavuk çiftliklerinde (yumurta ve et tavukları üretimi) katı atık örnekleme ve analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Pilot bölgelerde bulunan Çevre İl Müdürlükleri ve tarım il Müdürlükleri ile temasa geçilmiştir. Bölgedeki mevcut hayvan çiftlikleri, adresleri, hayvan sayıları konusundaki bilgiler, üretim yöntemleri, üretimden kaynaklanan katı atık miktarları bilgileri edinilmiştir. Ayrıca, katı atıkların bölgelere göre farklılık gösteren uzaklaştırma uygulamaları araştırılmıştır. Katı atık örneklerinin alım yerlerinin seçiminde, çiftliğin büyüklüğü ve yörede en çok kullanılan üretim şekli ve katı atık uzaklaştırma uygulaması açısından temsil edici olmasına dikkat edilmiştir. Genelde bölgelerde üretilen hayvan cinslerine göre birden fazla sayıda örnek alınmıştır.

Örnekler üzerinde, hayvan atıklarının yakıt karakteristikleri (ısı değeri, kül/uçucu kül miktarı), biyolojik prosesler ile ilgili olarak atıkların karbon, azot, fosfor içerikleri analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları hayvan atıklarının enerji dönüşüm sistemlerinde kullanılması, havasız ortamda çürütme ve kompostlama prosesleri işletme kriterleri çerçevesinde bölgesel özellikler de dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Hayvan atıkları için çevre kirliliğine neden olmaksızın ekonomik yararların da söz konusu olduğu alternatif bertaraf yöntemleri *Merkezi Havasız Ayırıştırma* ve *Merkezi Kompostlama* sistemleridir. Hayvan atıklarının karakterizasyonuna bağlı olarak bu atıklara *Gazlaştırma* prosesi de uygulanmaktadır. Uygulanan örnekleme ve karakterizasyon çalışmalarından elde edilen veriler değerlendirilerek her proses için seçilen pilot bölgelerin en uygunu belirlenmiştir. Bu aşamayı takiben fizibilite çalışmaları gerçekleştirilmiş, her alternatif için proses tasarımı yapılmış, proseste kullanılması planlanan cihazlar belirlenmiş, tesise ait ilk yatırım ve normal işletme koşullarındaki giderler hesaplanmıştır.

2.2 Hayvan atıkları karakterizasyonu – Literatür araştırması

Çeşitli kaynaklardan alınan hayvan atıklarının karakterizasyonu Tablo 2.1 ve 2.2’de özetlenmiştir. Hayvan katı atıklarının özellikleri hayvan cinsi, ağırlığı, beslenme alışkanlıkları, mevsim gibi çok çeşitli faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Hayvan atıklarının biyolojik proseslere uygunluğu açısından önemli faktörlerden biri biyolojik olarak çözünürlüktür. Gübrenin içerdiği

yüksek miktardaki lignin mikrobiyolojik atağa karşı direnç gösterdiğinden genelde sığır katı atıklarının biyolojik çözünürlük oranı düşük olmaktadır. Sığır gübresinde kesikli reaktörler kullanılarak yapılan bir çalışmada biyolojik çözünürlük %40 olarak bulunmuştur. Bu değer hayvan gübresine maya veya maya fabrikası atıksuları ile karıştırıldığında ise %50 değerine ulaşabilmektedir (Baban, 1982). Biyolojik çözünürlüğün artmasıyla havasız çürütme sürecinde üretilen gaz miktarlarında da %50’ye varan artışlar elde edilebilmiştir. Bu nedenle hayvan atıklarının uygun koşullar ve oranlar çerçevesinde endüstriyel organik atıklar ile karıştırılarak havasız çürütme prosesi uygulanmasında daha verimli sonuçlar alınmaktadır (Velioğlu vd, 1985).

Tablo 2.1. Hayvan atıklarının fiziksel özellikleri (Hart, 1960, Ohio State Univ., 1993)

Parametre	sığır (süt üretimi)	sığır (et üretimi)	tavuk (et ve yumurta)	koyun
hayvan ağırlığı, kg	636	431	2.0-2.3	45
katı atık üretimi, l/gün	36.8	28.3	0.095-0.160	3.1
atık yoğunluğu, t/m ³	0.99	0.96	0.96	1.04
katı madde miktarı, %	15	15	15-85 (72)	23

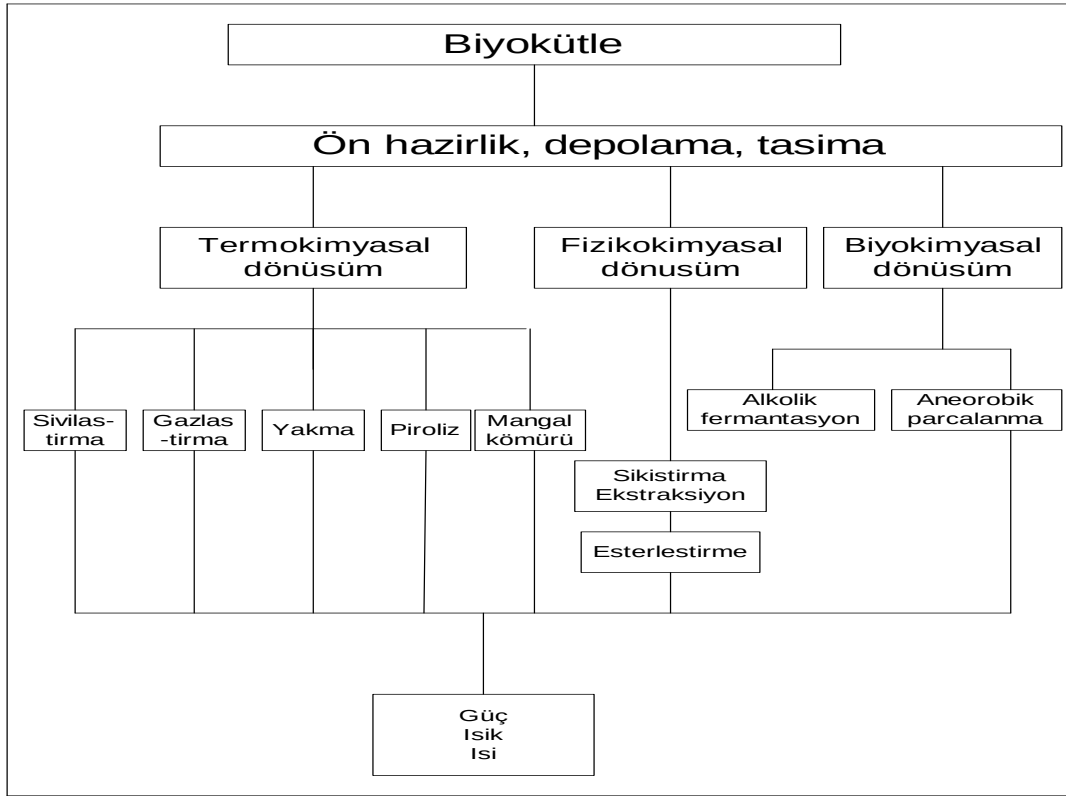
2.3. Biyokütle enerji dönüşüm sistemleri

Biyokütle ve diğer organik atıkların enerji amaçlı kullanılması için çeşitli dönüşüm yöntemleri kullanılmaktadır. Ön işlemden geçirilmiş atıkların elektrik, ısı ve ışık ihtiyacı olarak kullanılması durumunda uygulanan teknolojiler başlıca üç grupta toplanır. Bunlar; termokimyasal dönüşüm, fizikokimyasal dönüşüm ve biyokimyasal dönüşümdür.

Günümüzde enerji amaçlı kullanılan atıkların büyük bir kısmı termokimyasal yöntemle ısı ve elektriğe dönüştürülmektedir. Şekil 2.1’de çeşitli dönüşüm yöntemleri verilmiştir.

Tablo 2.2. Hayvan atıklarının organik ve besin elementleri açısından karakterizasyonu (her kg hayvan ağırlığı için g/gün olarak)

Hayvan	BOİ	KOİ	NH ₃ -N	Toplam N	ToplamP	K	Kaynak
<i>inek (eti için beslenen)</i>	1.1-2.2	10.0	-	0.36	0.115	0.29	Moore, 1969
	-	-	-	0.35-0.44	0.11-0.12	-	Tainganides vd, 1966
	1.02	-	-	0.29	-	-	Hart, 1960
	1.87	3.26	0.11	0.26	-	-	Loehr vd, 1967
	1.84	-	-	0.26	-	-	Witzel, 1966
	-	15.0	-	0.41	0.25	-	Vollenweider, 1968
	-	-	-	0.16	0.31	-	Townshed vd 1969
ort.	1.61	9.42	0.11	0.32	0.18	0.29	Dale vd, 1967
<i>inek (sütü için beslenen)</i>	0.31	1.53	8.4	-	0.38	0.12	Hart vd, 1965
	-	1.53	19.1	-	-	-	Jeffrey vd, 1963
	-	1.32	5.8	0.23	0.37	-	Witzel, 1966
	-	0.44	-	-	0.49	-	Water Poll. Rep., 1964
	-	0.95	5.7	-	0.16	0.11	Townshend, vd 1969
ort.	0.31	1.15	9.8	0.23	0.35	0.12	
<i>koyun</i>	-	-	-	0.86	-	-	Hart, 1960
	-	-	-	0.34	0.25	-	Vollenweider, 1968
ort.	-	-	-	0.60	0.25	-	
<i>tavuk</i>	-	-	-	0.52	0.12	2.36	Ohio State Univ., 1993



Şekil 2.1.Biyokütle dönüşüm yöntemleri

2.4. Havasız koşullarda çürütme prosesi

Havasız çürütme prosesi birçok koşulda atık arıtma amacıyla verimli olarak kullanılmaktadır. Prosesin havalı arıtma proseslerine göre avantajları bulunmaktadır. Proses sırasında mikroorganizmalar ile karışık halde bulunan atık, metan ve karbondioksit dönüştürülür. Bu dönüşüm sırasında yalnız atıktan elde edilen enerjinin %10-12'si yeni hücrelerin üretiminde kullanılmakta olup, biyolojik olarak çözünebilen organik maddelerin %85-90'i metan ve diğer son ürünlere dönüştürülür (McCarty, 1964).

Hayvan gübresi, çözünmemiş ve çözünmüş organik maddeler, polisakkaritler, lipid ve proteinler, uçucu yağ asitleri ve çevresel açıdan önemli inorganik bileşiklerden oluşmaktadır. Dolayısıyla, hayvan gübresi kompleks yapıda bir substrat olarak nitelendirilmektedir (Garcia-Ochoa, 1999). Biyolojik atığın metan gazına dönüşümünün sağlandığı havasız çürütme (dönüşüm) prosesi bir dizi biyolojik reaksiyon adımının birleşmesinden oluşmaktadır. Literatürde bazı yazarlar bu sürecin yalnız 2 kademeli (Hobson ve arkadaşları, 1984) olduğunu öne sürmüştür.

Bazı yazarlar ise prosesin 3-6 kademe arasında seyrettiğini açıklamışlardır (Bryant, 1979; McCarty, 1979; Guyer ve Zehnder, 1983). Genelde 3 kademeli bir proses dikkate alındığında bu kademelerde sırasıyla,

- (1) *kompleks biyopolimerler hidroliz yoluyla düşük molekül ağırlıklı bileşiklere dönüştürülür, bu bileşikler mikroorganizmalar tarafından kullanılabilir,*
- (2) *hidrolize edilen atık mikroorganizmalar (acetogenic) tarafından uçucu organik asitlere dönüştürülür,*
- (3) *uçucu organik asitlerden mikroorganizmalar (methanogenic) tarafından metan üretilir.*

Organik katı atıkların havasız ayrıştırılmasında en büyük problem atığın heterojenliği ve ayrışmanın kademeli olarak gerçekleşmesidir. Metan üreten bakterilerin hassas yapısı ve yavaş üreme hızı nedeniyle havasız çürütme prosesi boyunca bir dizi çevresel koşulu sağlamak gereklidir. Bunlar özetle,

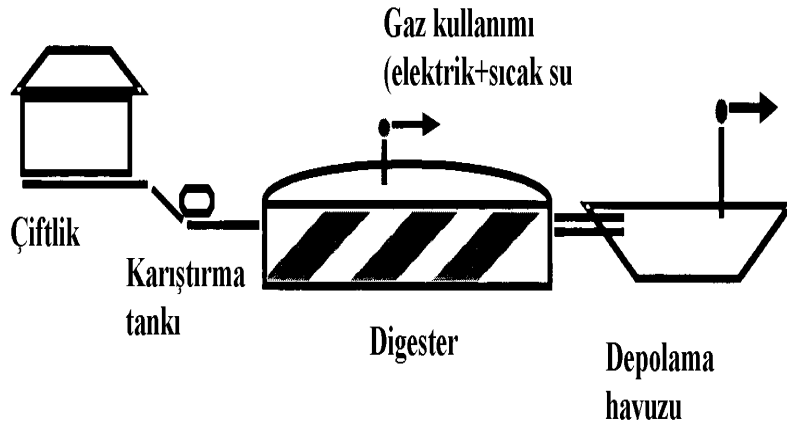
- *oksijensiz koşulların sağlanması,*
- *iki değişik aralıkta sıcaklığın sürdürülmesi (mezofilik ve termofilik)*
- *besin elementlerinin ortamda bulunması*
- *çok çeşitli sayıda toksik yapı gösteren maddelerin proses ortamında bulunmaması, bu maddelere yüksek konsantrasyonda acetogenic mikroorganizmalar tarafından üretilen uçucu organik asitler de dahildir.*
- *Uygun işletme koşullarının sağlanmasıdır.*

2.4.1. Hayvan atıklarında havasız çürütme ve biyogaz üretimi uygulamaları

Hayvan atıklarının havasız ortamda çürütülerek stabilizasyonunun sağlanması ve biyogaz üretimi Avrupa’da bir enerji üretim stratejisi yaklaşımı olarak Danimarka’da yaygın şekilde uygulanmaktadır. Burada 1999 yılı verilerine göre toplam mevcut 20 adet merkezi havasız çürütme sisteminden 19 adedi üretimde bulunmaktadır. Danimarka’da ilk biyogaz üretim tesisi 1980’li yılların başında kurulmuş olup tesis sayısı tüm ülke geneline yayılarak bir program çerçevesinde artış göstermiştir. Bu tesislerde reaktör kapasiteleri 500 – 7500 m³ arasında değişim göstermektedir. 1996 yılı bazında ülkede tüm tesislerde üretilen biyogaz miktarı net 3.4 milyon m³ olmuştur. Bu miktar yılda 20 000 ton fuel-oil’e eşdeğer enerji içermektedir (Maeng ve arkadaşları, 1999).

Genelde biyogaz üretimi atığın içerdiği uçucu katı madde miktarı ile orantılıdır. Veya yaklaşık olarak biyogaz üretiminin toplam katı madde (kuru ağırlık) miktarı ile de orantılı olduğu düşünülebilir. Yaklaşık 1 ton toplam katı madde içeren hayvan gübresinden 200 m³ metan içeren biyogaz üretilmektedir. 1 m³ metanın enerji içeriğinin yaklaşık 10kWh olduğu kabulü ile 1 ton katı madde içeren gübrenin enerji eşdeğeri yaklaşık 2000 kWh olmaktadır (Dagnall ve arkadaşları, 2000). Bir biyogaz üretim tesisinin şematik gösterimi Şekil 2.2’de verilmiştir.

Danimarka’da kurulu bulunan bu tesislere günde yaklaşık 50-500 ton arasında değişen miktarlarda hayvan gübresi beslenmiştir. Hayvan gübresinin yanında ayrıca %10-30 arasından endüstriden kaynaklanan organik nitelikte atık da havasız koşulda çürütme prosesine tabi tutulmuştur. Proses özellikle yüksek miktarda organik madde içeren besin endüstrisi ve zeytinyağı üretiminden kaynaklanan atıkların stabilizasyonu için ideal özelliktedir. Gerekli durumlarda gübre, kuru madde miktarı %12 olacak şekilde toksik olmayan gıda endüstrisi atıksuları ile karıştırılabilir. Görüldüğü gibi hayvan gübresinin havasız ortamda çürütülmesi prosesi çevre kirliliği önlenmesinin yanı sıra önemli bir enerji üretme potansiyeline sahiptir.



Şekil 2.2. Biogaz dönüşüm sistemi

2.5. Kompostlama

Kompostlama işlemi, organik maddelerin bakteriler ve diğer mikroorganizmalar tarafından biyolojik olarak parçalanarak humus adı verilen toprak benzeri bir maddeye dönüştürülme prosesidir. Kompost bir toprak düzenleyicisi olup gübre değildir. Gübre olarak tanımlanabilmesi için daha fazla miktarda azot, fosfor ve potasyum içermesi gerekmektedir.

Ayrıca kompostun içerdiği maddelerin çözünmesi, kimyasal gübrelerin aksine, ancak uzun bir süre içerisinde gerçekleşebilmekte ve alıcı ortama aktarılması zaman almaktadır. Normal olarak kompost hammaddelerinden birisi olan bitki atıklarının bünyesinde bol miktarda azot bulunmaktadır. Ancak, bu madde kompostlaşma prosesi sırasında kaybolduğundan, kompost

bünyesinde organik bağlı azot kalmaktadır ve buda kompostun içerdiği diğer maddeler gibi gecikmeli olarak toprağa verilebilmektedir.

Kompost, uygulandığı toprağa organik madde ekler, killi toprağın geçirgenliğini artırır ve kumlu toprakların su tutma kapasitesini artırır. Bitki kök büyümesini teşvik eder, su ve hava için gerekli ortak hacmi yaratır. Humus toprağın organik madde ihtiyacını azaltır. Azotun tutulmasını sağlar ve yeraltı suyuna karışmasını önler. Humus açısından zengin topraklar, yetiştirilen bitkilerin daha sağlıklı, hastalıklara ve zararlılara karşı daha dayanıklı olmasına olanak sağlar. Böylelikle kimyasal ve zirai mücadele ihtiyacı azalır. Bunların yanı sıra kompost toprak yapısını geliştirir ve su geçirgenliğini artırır. Özellikle yağmur ile toprak yüzeyine ulaşan suyun yüzey akışa geçmek yerine daha kolay yeraltına süzülmesini sağlar ve erozyonu azaltır.

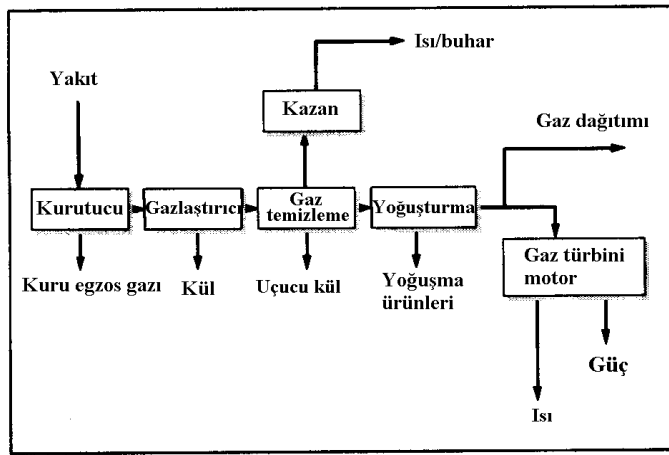
Organik maddenin parçalanmasına mikro ve daha üst düzey organizmalar katılırlar. Bakteriler, aktinomitler ve mantarlar atığı doğrudan kullanırlar ve birinci düzey ayrıştırıcılar olarak adlandırılırlar. Bu mikroorganizmalar, bir üst düzeyde yer alan protozoa, rotifer mite ve çeşitli böcekler tarafından yenirler. Üçüncü düzey parçalayıcılar ise diğer iki kademede yer alan organizmalar üzerinden beslenir ve bu kademelerdeki popülasyonu kontrol altında tutarlar. Kompostlama sırasında organik madde mikroorganizmalar tarafından parçalanır ve karbon dioksit, su enerji ve oldukça kararlı bir son ürün olan humus oluştururlar. Kompostlama havalı ve havasız koşullar altında gerçekleştirilebilir (Topkaya, 2001).

Havalı kompostlama ticari olarak havasız kompostlamaya tercih edilmektedir. Fakat bu tür atıkların arıtımında birçok durumda da enerji ve havalandırma ekipmanı gerekmediğinden ve yan ürün olarak çıkan metan gazı dolayısıyla havasız ayrıştırma tercih edilmektedir. Katı madde giderimi ve stabilizasyon açısından ise her iki yöntem arasında fark yoktur. Kompostlama prosesinde en önemli faktörler C/N oranı, nem miktarı ve uçucu katı miktarıdır. Nem miktarının proses sırasında %40-60 aralığında olması sağlanmalıdır. Atıktaki C/N oranı 30/1, uçucu katı ise %50 nin üzerinde olmalıdır. İşletme şartlarının optimize edilmesi ile kompostlama sırasında besin elementi kayıpları minimize edilebilir. Partikül çapı 12mm nin altında, pH'ı 6-7.8 aralığında çözünmüş tuz seviyesi 2500µmhos/cm özelliklerinde bir kompost idealdir (Georgakakis and Krintas, 2000). Kompostun toprakta güvenle kullanılabilmesi için stabilizasyonun tamamlanmış olması, fitotoksik maddelerin bulunmaması ve patojen içermemesi gerekmektedir. Suda Çözünebilir Organik Karbon/Toplam Organik Azot oranının 0.7nin altına indiğinde stabilizasyonun tamamlanmış olduğu kabul edilir. Stabilizasyonun tamamlandığı kompostta NH₄ ün azalıp NO₃ ün artmasından da anlaşılabilmektedir. Stabil bir kompostta NH₄ konsantrasyonunun %0.04 ün üstünde olmaması gerekmektedir. Bunların dışında kompostun stabilliğinin belirlenmesi için önerilen birçok yöntem vardır (Bernal vd, 1998). Kompostun stabilizasyonunun tamamlanma süresi atığa bağlı olup 100-150 gün aralığındadır.

Hayvan dışkılarının başka katı atıklarla birlikte kompostlanması da mümkündür. G-Rodriguez vd (2001) kestane yeşil kabuğu, atık yaprak ve tavuk dışkılarını karıştırarak; Ball vd (2000) at dışkısı ve atık gazete kağıtlarının; Tiquia vd (2001) tavuk dışkısı ve orman atıkları; Vuorinen et al. (1997) süt ineği ve domuz dışkıları ve arpa samanı kullanarak kompostlama çalışmaları yapmıştır. Kompostlama prosesinde nem, toplam katılar, uçucu katılar, sıcaklık, çevre havadaki bağıl nem, ve sıcaklık gibi parametrelerin ölçülerek takip edilmesi gerekmektedir.

2.6. Gazlaştırma

Gazlaştırma, biyokütlenin termokimyasal yöntemle enerjiye dönüştürülmesi prosesidir. Katı biyokütle, kısmi oksijenle reaksiyona girerek gaz yakıtı dönüştürülmekte, ve çeşitli uygulamalarda doğal gaz gibi kullanılabilir. Yakıt kaynağı olarak bir çok biyokütle atığı, organik atıklar ve kanalizasyon çamuru kullanılabilir. Bu nedenle zengin bir kaynağı mevcuttur. Üretilen gaz, motor ve gaz türbini sistemlerinde kullanılarak elektrik enerjisi elde edilir. Şu an için gaz üretim maliyeti yüksek olup gelecekte fiyatın düşmesi beklenmektedir. Şekil 3'de bir gazlaştırıcı sistemin çalışma prensibi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi gazlaştırıcıdan çıkan gaz temizlendikten sonra hem kazana gönderilerek ısı enerjisine hem de bir gaz türbini/motor ünitesine gönderilerek elektrik enerjisine çevrilebilmektedir. Üretilen gazın ısı değeri kullanılan biyokütle kaynağına bağlı olarak 4100-4600 kJ/kg arasında değişmektedir. Günümüzde, 4-10 kW güce sahip gazlaştırıcılar su pompalama için, 15-300 kW kapasiteli sistemler termal uygulamalar için, 300kW'dan büyük sistemler elektrik üretimi için yaygın biçimde kullanılmaktadır.



Şekil 2.3. Gazlaştırma sisteminin çalışma prensibi

2.7. Hayvan atıklarının nakliyesi

Hayvan atıklarının bertaraf yöntemlerinin uygulanmasında karşılaşılabilecek önemli problem yeterli miktarda çiftlik hayvanı gübresinin ekonomik olarak merkezi ünitelere ulaştırılabilmesidir. Bu nedenle çiftlik hayvanı gübreleri için *Kaynak Haritası* çıkartılması önerilmiştir (Georgakakis ve Krintas, 2000). Kaynak haritaları, yöntem seçiminde, bertaraf

yöntemi için kapasite belirlenmesinde ve toplanabilir çiftlik gübrelerinin kaynaklarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Çiftlik hayvanı gübrelerinin kuru madde miktarı %70 civarında ise kaynaktan 40km mesafeye, kuru madde miktarı %10 ise kaynaktan 10km mesafeye taşınmasının ekonomik olduğu belirtilmektedir (Tafdrup, 1994). Hayvan gübrelerinin ekonomik açıdan kabul edilebilen en fazla taşıma uzaklıkları Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.3. Çeşitli grup hayvan gübresi kuru madde (KM) miktarları ve önerilen taşıma uzaklıkları

Grup	kuru madde miktarı (%)	taşıma mesafesi (km)
sığır ve koyun	8-15	10
yumurta üretimi ve kümes hayvanı yetiştirme (sadece dışkı)	30 (70)	40
ızgaralıklar, hindi, ve diğer kümes hayvanları (çöp niteliğindeki atıklar+ dışkı)	70	40

2.8. Hayvan miktarları

Ülkemiz genelinde bulunan büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan kapasiteleri 1999 dan geriye doğru beş yıllık bir dönem için il ve ilçe bazında belirlenmiştir. 1999 yılı itibarı ile ülkemizdeki mevcut hayvan miktarları Tablo 2.4’de verilmiştir. Ülkemizde toplam yaklaşık 30 milyon koyun, 11 milyon sığır ve 246 milyon kanatlı hayvan bulunmaktadır.

Toplam büyük ve küçükbaş hayvan sayısı ise (at, eşek, keçi ve manda dahil olarak) yaklaşık 50 milyondur. Sığır ve koyun toplamı büyükbaş hayvan toplamının %82’sini oluşturmaktadır. Tablo 2.4’den görüldüğü üzere büyükbaş ve küçükbaş hayvancılık alanında dikkati çeken illerimiz Diyarbakır, Ağrı, Van, Kayseri, Balıkesir ve Konya dır.

Tavukçuluk açısından ise önemli illerimizin Bolu, Balıkesir, Manisa, İçel, Çorum, Afyon, Kayseri ve Konya olduğu görülmektedir.

Tablo 2.4. 1999 yılı itibarı ile ülkemizdeki hayvan kapasitesi (DİE, 2001)

İller	koyun (bin adet)	sığır (bin adet)	et tavuğu (bin adet)	yumurta tavuğu (bin adet)	hindi ördek, kaz (bin adet)	kanatlı h. toplamı (bin adet)
Ankara	659.5	250.0	7674.5	1190.9	283.5	9149.0
Bilecik	69.0	37.6	507.5	274.2	23.3	805.1
Bolu	145.5	199.1	5755.8	1205.0	76.0	58839.0
Çankırı	161.5	128.4	325.7	216.6	33.4	575.7
Çorum	212.5	225.4	337.8	2957.7	120.4	3415.9
Eskişehir	447.6	99.7	1721.6	346.8	81.7	2150.2
Kırşehir	119.5	54.1	120.0	319.0	88.0	527.0
Kütahya	341.5	151.1	129.4	997.2	101.7	1228.3
Uşak	264.8	65.0	956.0	277.0	21.1	1254.1
Yozgat	375.1	184.8	274.0	1273.8	219.0	1766.8
Kırıkkale	116.5	38.8	23.2	157.0	57.6	237.8
Aydın	179.5	244.2	661.5	923.8	17.3	1602.6
Balıkesir	732.8	241.0	11469.0	4959.3	37.2	16465.5
Burdur	161.2	103.5	46.8	566.5	12.3	625.6
Çanakkale	442.7	105.3	494.1	400.2	47.4	941.7
Denizli	253.2	77.8	257.0	994.0	9.9	1260.9
İsparta	178.6	72.1	80.3	121.9	17.6	219.8
İzmir	483.8	252.6	3283.2	3845.1	373.9	7502.2
Manisa	567.3	136.9	7952.0	2524.5	72.7	10549.2
Muğla	98.5	129.1	127.4	809.6	14.2	951.2
Bursa	332.9	154.0	1530.9	2580.4	22.7	4134.1
Edirne	204.6	112.0	39.7	282.7	77.2	399.6
İstanbul	77.6	77.1	314.2	517.9	24.3	856.4
Kırklareli	190.4	81.3	33.1	285.3	34.8	353.2
Kocaeli	105.0	90.0	13469.0	6151.0	69.9	19716.9
Sakarya	41.0	165.2	12675.4	646.0	573.4	13894.8
Tekirdağ	132.0	96.2	347.2	418.2	57.5	822.9
Yalova	15.2	13.5	25.0	102.3	8.4	135.7
Adana	230.6	176.4	1820.0	566.0	17.5	2403.5
Antalya	249.8	146.9	74.9	595.0	24.1	694.0
Gaziantep	346.9	38.6	87.0	464.0	79.0	630.0
Hatay	108.0	102.2	246.5	233.9	24.9	505.3
İçel	301.2	102.4	20022.5	844.0	6.8	20873.3
K.Maraş	571.4	124.0	3016.0	552.1	168.1	3736.2
Kilis	65.0	3.0	100.0	8.0	11.2	119.2
Osmaniye	57.6	63.1	7.5	283.0	13.5	304.0
Ağrı	1773.1	289.2	0	294.0	152.0	446.0
Artvin	94.8	70.7	8.0	77.9	0.5	86.4
Erzincan	430.5	108.4	858.7	285.3	61.4	1205.4
Erzurum	960.4	555.3	1656.7	338.9	114.3	2109.9
Kars	602.5	318.0	8.0	184.4	174.8	367.2
Ardahan	110.6	255.6	40.0	87.8	179.1	306.9
Iğdır	409.3	54.7	0	92.6	21.1	113.7
Bingöl	583.0	72.5	0.9	67.6	37.8	106.4
Bitlis	586.8	77.1	29.8	132.1	75.5	237.4
Diyarbakır	909.2	256.9	302.0	546.0	310.7	1158.7
Hakkari	506.5	67.0	7.6	22.5	6.5	36.7
Mardin	342.8	55.5	5.5	373.1	271.2	649.8
Muş	1368.7	186.9	1.4	746.0	501.6	1249
Siirt	175.6	20.1	0	273.0	45.3	318.3
Şanlıurfa	1583.0	144.0	0	1096.3	264.3	1360.5
Van	2255.5	199.3	0	383.0	85.2	468.2

Tablo 2.4. 1999 yılı itibarı ile ülkemizdeki hayvan kapasitesi (DİE, 2001) - devam

İller	koyun (bin adet)	sığır (bin adet)	et tavuğu (bin adet)	yumurta tavuğu (bin adet)	hindi ördek, kaz (bin adet)	kanatlı h. toplamı (bin adet)
Batman	171.1	35.6	0	177.0	77.2	254.2
Şırnak	82.6	20.6	8.0	45.9	20.9	74.8
Giresun	176.1	140.3	1.7	276.8	3.3	281.8
Gümüşhane	92.3	87.0	9.0	181.1	3.6	193.7
Kastamonu	103.6	309.8	27.0	1852.2	245.9	2125.2
Ordu	156.6	233.6	40.8	761.2	49.7	851.7
Rize	8.1	61.0	0	65.9	0	65.9
Samsun	293.7	354.2	1745.4	1433.3	192.7	3371.4
Sinop	121.9	113.7	20.3	325.0	17.7	363.0
Trabzon	122.8	193.2	2.5	205.6	0.6	208.6
Zonguldak	17.7	119.1	798.0	229.5	9.4	1036.9
Bayburt	159.9	67.8	0.6	157.1	7.8	165.4
Bartın	6.1	72.9	90.0	224.5	14.3	328.8
Karabük	23.1	59.4	206.0	212.0	31.9	449.9
Adıyaman	307.9	90.2	58.8	334.5	67.7	661.0
Amasya	160.0	128.6	40.0	434.7	62.1	536.8
Elazığ	311.3	126.8	6569.0	446.3	36.8	7052.1
Malatya	204.8	119.6	39.8	176.6	15.9	232.3
Sivas	777.4	358.5	78.2	777.3	147.6	1003.2
Tokat	337.5	305.2	61.7	438.9	82.1	582.7
Tunceli	192.0	42.5	0	76.4	10.9	87.3
Afyon	717.9	214.5	248.5	3400.2	1001.1	4649.8
Kayseri	631.7	173.0	5368.5	1699.0	44.0	7129.5
Konya	1743.6	350.9	364.7	9517.4	213.1	10095.1
Nevşehir	103.8	49.3	5.4	750.2	55.8	811.4
Niğde	466.1	64.9	902.4	354.9	17.9	1275.3
Aksaray	417.0	67.8	58.3	414.0	61.6	533.9
Karaman	381.4	20.4	88.0	1990.3	109.2	2187.5
Toplam	30 019.2	11 054.0	167 559.0	70 848.0	7 823.6	246 476.4

2.9. Fizibilite projeleri için seçilen pilot bölgeler

Hayvan atıklarından enerji elde edilmesi, gübre üretilmesi ve en uygun yöntemler kullanılarak çevre sağlığına zarar vermeyecek şekilde uzaklaştırılması konularında yapılacak fizibilite çalışmaları için seçilen bölgeler ve seçim kriterleri aşağıda özetlenmiştir.

Kayseri

Kayseri ilimizde yaygın şekilde et üretimi amacıyla tavukçuluk yapılmaktadır. Ayrıca bu ilimizde büyükbaş ve küçükbaş hayvan açısından önemli potansiyel mevcuttur

Çorum

Yaklaşık üç milyon tavuk kapasitesine sahip bu ilimizde özellikle tavuk katı atıkları açısından büyük ölçüde çevre sorunu yaşanmaktadır.

Balıkesir / Manyas

Manyas, büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayısı açısından önemli bir potansiyele sahip olan Balıkesir ilimizde yer almaktadır. Özellikle büyükbaş hayvan adedi açısından il genelinde en büyük paya sahiptir. Manyas Kuş gölü yakınında bulunması nedeniyle çevre açısından hassas bir yapı oluşturmaktadır.

3. PİLOT BÖLGELERDE HAYVAN SAYILARI ATIK ÖZELLİKLERİ VE DEĞERLENDİRME

3.1. Kayseri pilot Bölgesi

3.1.1. Bölgedeki üretim çiftlikleri ve hayvan atıkları özellikleri

Kayseri’de yaygın olarak büyükbaş/küçükbaş hayvan ve tavuk üreticiliği yapılmaktadır. Et tavukçuluğu yumurta tavukçuluğuna oranla daha yaygındır. Bölgedeki önemli üretim çiftlikleri hayvan atıkları açısından incelenmiş ve bu konudaki bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

Et tavukçuluğu

Köytur tavukçuluk Sanayi ve Ticaret. A.Ş

Tavuk, civardaki çiftliklerden temin edilerek kesim yapılmaktadır. Köytur’a tavuk üreten çiftlikler Kayseri-Malatya yolunun sol tarafı (I. Bölge) ve sağ tarafı (II.Bölge) olmak üzere iki bölge halinde organize olmuştur.

Yukarıda bahsedilen her iki bölgeye ait üretim ve katı atık bilgileri Tablo 3.1 ’de özetlenmiştir.

Tablo 3.1. Kayseri bölgesi et tavukçuluğu üretim ve katı atık bilgileri

İşletme	tavuk üretimi Tavuk/yıl	*katı atık miktarı, kg/yıl	uzaklaştırma yöntemi
I. Bölge	3 800 000	4 800 000	ekim alanlarında gübre olarak
II. Bölge	1 450 000	1 800 000	ekim alanlarında gübre olarak
Kesimhane		4 560 000 (kesimhane atığı)	rendering+satma

*yaklaşık 30 g/tavuk, 45 günlük yaşam sürecinde

Tavuk kümeslerinde altlık olarak talaş ve saman kullanılmaktadır. İki ayrı çiftlikten alınan örneklerin (talaş altlıklı ve saman altlıklı) analizleri Tablo 3.2’de verilmektedir. Mevsim nedeniyle şu anda en bol ve en ucuz olan talaş tercih edilmektedir. 45 günde kümes boşaltılmakta, atıklar traktörle toplanarak yol kenarlarındaki tarlalara bırakılmaktadır. Atıklar daha sonra gübre olarak değerlendirilmektedir. Yılda ortalama 5.5-6 dönem halinde kümeslerde üretim yapılmaktadır. Bu durumda 45 günlük civcivden başlayıp kesime hazır hale gelinceye kadar saman veya talaş altlıkla birlikte bir tavuk tarafından 1.25 kg katı atık üretilmiş olmaktadır.

Tablo 3.2. Kayseri bölgesindeki etlik tavuk atıkları analiz sonuçları
(örnekleme tarihi: 2.07.2001)

Parametre	örnek	nem (%)	kül (%)	uçucu mad(%)	sabit C(%)	top. S(%)	C (%)	H (%)	N (%)	P (g/kg)	ısııl değeri (kJ/kg)
Kuru köprü	orijinal	25.91	7.44	55.14	11.51	0.26	-	-	-	-	13419
talaş altlık	kuru	-	10.04	74.42	15.54	0.35	42.48	5.99	3.98	9.38	18113
Saman	orijinal.	24.23	10.10	54.56	11.11	0.33-	-	-	-	-	13118
Altılık	kuru	-	13.33	72.01	14.66	0.43	41.42	5.73	4.51	12.80	17313
Kuru köprü	orijinal	13.91	19.21	55.65	11.23	0.32	-	-	-	-	-
talaş altlık- açık alan	kuru	-	22.31	64.64	13.05	0.37	37.45	5.25	3.49	11.59	14782

Yumurta tavukçuluğu

Bölgede kurulu bulunan yaklaşık 60 çiftlikte yumurta tavukçuluğu yapılmaktadır. Toplam yumurta tavuğu sayısı ekonomik koşullar çerçevesinde değişmekle birlikte ortalama 1000000 adettir. Bu sayının değişik dönemlerde 1200000'e çıktığı olmuştur. Günümüz koşullarında bölgede yaklaşık 800000 yumurta tavuğu bulunduğu ifade edilmiştir. Kayseri'de yapılan yumurta tavukçuluğu ile ilgili bilgiler Tablo 3.3'de verilmektedir.

Tablo 3.3. Kayseri bölgesi yumurta tavukçuluğu üretim ve katı atık bilgileri

İşletme	tavuk üretimi tavuk/yıl	katı atık miktarı, kg/yıl	uzaklaştırma yöntemi
Yaklaşık 60 işletme	800 000	50 400 000	Suyundan ayırma+fermentasyon işlemleri uygulanmaktadır. Sıvı kısım açık alanlara verilir, katılar ise işlendikten sonra gübre olarak paketlenip satılır.

* Üreticilerden alınan bilgi çerçevesinde bir tavuktan kaynaklanan atık miktarı 175 g/tavuk-gün olarak alınmıştır

Kaytaç A.Ş Çiftliği

Bu çiftlikte yumurta tavukçuluğu yapılmaktadır. Çiftliklerden yumurta toplanarak paketleme yapılmaktadır, kendi atıkları bulunmamaktadır.

Kayçev A.Ş. Çiftliği

Yumurta tavukçuluğunda atıklar için bir altlık kullanılmamaktadır. Tavuk atıkları sulu bir sistemle bir biriktirme havuzunda toplanmakta, sıkma ünitesi ile suyun bir kısmı ayrıştırılarak

atık sular açık araziye verilmektedir. Katı atık kısmi fermantasyona uğratarak gazı (metan) alınmakta, bu gaz direkt atmosfere verilmektedir. Herhangi bir gaz toplama ünitesi mevcut değildir. Bu işlem yaklaşık olarak 15 günde tamamlanmaktadır. Gazı alınmış atık daha sonra briketleme işlemine tabi tutularak küçük silindirik parçalar halinde çiçek gübresi olarak paketlenmektedir. Bu çiftlikten üretimin değişik aşamalarından alınan örneklerin analiz sonuçları Tablo 3.4’ de verilmektedir.

Tablo 3.4. Kayseri bölgesindeki uygulanan prosesin değişik aşamalarında yumurta tavuğu atıkları analiz sonuçları (*örnekleme tarihi: 2.07.2001*)

Parametre	örnek	nem (%)	kül (%)	uçucu m. (%)	sabit C (%)	Top. S (%)	C (%)	H (%)	N (%)	P (g/kg)	ısııl değ. (kJ/kg)
kümes altı	orijinal	79.99	4.90	13.20	1.91	0.06	-	-	-	-	-
işlenmemiş	kuru	-	24.49	65.96	9.55	0.28	36.86	4.58	2.36	14.9	13532
suyu sıkılmış	orijinal	66.42	8.11	21.93	3.93	0.09	-	-	-	-	-
ferment. öncesi	kuru	-	24.17	65.32	10.51	0.25	37.26	4.49	1.08	10.3	13438
gazı alınmış,	orijinal	16.33	26.12	47.64	9.90	0.25	-	-	-	-	-
kurut.toz(ferment sonrası)	kuru	-	31.22	56.94	11.84	0.30	30.79	3.64	2.26	31.3	10142
işlenmiş gazı	orijinal	16.63	34.14	43.69	5.54	0.21	-	-	-	-	-
alınmış pellet gübre	kuru	-	40.95	52.40	6.65	0.25	27.03	2.97	2.07	27.9	8760

Büyükbaş hayvancılık

Kayseri ilindeki büyükbaş hayvan sayıları ve bu hayvanlardan kaynaklanan katı atık miktarları Tablo 3.5’de verilmiştir.

Saray halı büyükbaş hayvancılık

Büyükbaş hayvan çiftliklerinde sadece doğuracak hayvanlar için ayrılan ahırlarda altlık olarak saman kullanılmaktadır. Buradaki atıkların daha sonra herhangi bir işlem yapılmadan kamyonlarla tarlalara gönderildiği belirtilmektedir. Ahırların çoğunda altlık bulunmamaktadır. Belirli zamanlarda taraklı veya zincirli süpürücüler ile taranan atıklar ahırların altında bulunan kanallara gönderilmektedir. Burada bol su ile karıştırılarak bir pompa ile büyük bir havuza yönlendirilmektedir. Bu esnada fermantasyon işlemi de yapılmaktadır. Bütün ahırlardan gelen bu sulu atıklar havuzda karıştırılarak 200 mm çapında bir boru ile 4.5 km uzaklıktaki tarlalara saatte 140 m³’lük debi ile gönderilmekte, buradaki sulama kanalları ile tarlalarda gübre olarak kullanılmaktadır. Şu anki atık miktarının gübre ihtiyacını tam karşılamadığı belirtilmiştir. Bu çiftlikten alınan örneğin analiz sonuçları Tablo 3.6’da verilmektedir.

Tablo 3.5. Kayseri ilinde mevcut büyükbaş hayvan sayıları ve katı atık bilgileri

İşletmenin bulunduğu ilçe	*köy	hayvan sayısı	**katı atık miktarı, kg/gün	mevcut bertaraf yöntemi
Kocasinan	Kemer	33	660	tarlalarda gübre olarak kullanılmaktadır
Kocasinan	Kaş	21	420	
Kocasinan	Bayramhacı	27	540	
Kocasinan	Düven	25	500	
Kocasinan	Dadağı	9	180	
Kocasinan	Himmetdede	5	100	
Kocasinan	Yuvalı	53	1060	
Melikgazi	Ağırnas Beldesi	636	12720	
Melikgazi	Ambar	195	3900	
Melikgazi	Eğribucak Mah.	50	1000	
Melikgazi	Hisarcık	32	640	
Melikgazi	Gedris Bağları	30	600	
Aryancık	Talatpaşa Mah.	42	840	
Merkez	Boztepe Altan Cad.	21	420	
Merkez	Yeşilyurt Köyü	50	1000	
Merkez	Beğdeğirmeni Acı mev.	200	4000	
Kocasinan	Yeşil Mah.Sancaktepe	165	3300	
Kocasinan	Doruklu	31	620	
Merkez	Hisarcık	41	820	
Merkez	Buğdaylı	332	6640	
Melikgazi	Ambar	110	2200	
Kocasinan	Ambar	129	2580	
Merkez	Sancaktepe	285	5700	
Merkez	Konaklar	80	1600	
Merkez	Yeşilyurt	80	1600	
Merkez	Hasanarpa	708	14160	
Merkez	Elagöz	1777	35540	
Kocasinan	Oymaağaç	2556	51120	
Merkez	Boztepe	302	6040	
Kocasinan	Erkilet	196	3920	
Merkez	Yazır	263	5260	
Melikgazi	Germir	113	2260	
Melikgazi	Gesi Beldesi	59	1180	
Melikgazi	Turan Beldesi	115	2300	
Merkez	Akin Köyü	245	4900	
Kocasinan	Boyacı	91	1820	
Melikgazi	Yeşilyurt	177	3540	
Merkez	Cırgalan	799	15980	
Kocasinan	Boğazköprü	233	4660	
Merkez	Gömeç	68	1360	
Melikgazi	Mimar Sinan	137	2740	
Melikgazi	Subaşı	41	820	
Melikgazi	Karahöyük	125	2500	
Kocasinan	Saraycık	28	560	
Kocasinan	Mahzemin	16	320	
Kocasinan	Doruklu	53	1060	
Kocasinan	Sancaktepe	19	380	
Kocasinan	Yeşilmahalle	111	2220	
Kocasinan	Güneşli	135	2700	
Kocasinan	Akçatepe	283	5660	
Melikgazi	Gürpınar Beldesi	64	1280	
Saray Halı	Tekir yaylası	2000	40000	
Toplam		13396	267920	

*köyde değişik besiciler tarafından yetiştirilen toplam hayvan sayısını göstermektedir.

** literatür verileri (Hart, 1960; TÜBİTAK-MAM Kümes ve Ahır Gübrelerinin Geri Kazanılması ve Bertarafı Projesi-Başlangıç Raporu, Mayıs 2001) ve bölgeden alınan bilgilerden yararlanılarak atık miktarı sığırlar için 20 kg/sığır-gün olarak alınmıştır.

Tablo 3.6. Kayseri ili büyük baş hayvan atıkları analiz sonuçları (örnekleme tarihi 2.07.2001)

	örnek	*nem (%)	kül (%)	uçucu mad (%)	sabit C (%)	Top S (%)	C (%)	H (%)	N (%)	P (%)	ısııl değer (kJ/kg)
Saf gübre,	orij.	82.78	2.80	11.84	2.57	0.06					
altlık yok	kuru		16.28	68.77	14.94	0.36	42.38	5.34	2.12	6.18	16910

* gübrenin su ile taşınması nedeniyle içerdiği nem miktarı normalden yüksek bulunmuştur

Bu veriler çerçevesinde bölgeden yaklaşık 270 t/gün büyükbaş, 19 t/gün et tavukçuluğu ve 140 t/gün yumurta tavukçuluğu olmak üzere toplam 430 t/gün hayvan katı atığı kaynaklandığı hesaplanmıştır.

3.2. Çorum pilot bölgesi

3.2.1. Bölgedeki üretim çiftlikleri ve hayvan sayıları

Çorum'da son günlerde yaşanan en büyük çevre problemi ildeki tavuk çiftliği gübrelerinden kaynaklanmaktadır. Tarım İl Müdürlüğü yetkilileri, işletmelerden ortaya çıkan atıkların bir kısmının tarımda gübre olarak kullanıldığını, geri kalan kısmının ise gelişigüzel dökülmek suretiyle yöredeki su kaynaklarını kirlettiğini ifade etmiştir. İlde büyük ölçüde yumurta üretimi amacıyla tavukçuluk yapılmaktadır. Ekonomik kriz yöredeki tavuk çiftliklerini de olumsuz yönde etkilemiş DİE verilerinde 1999 yılında 3,000,000 olan tavuk sayısı Tarım İl Müdürlüğü ve Çorum Yumurta A.Ş. tarafından sürekli değişmekle birlikte Temmuz 2001 için 2,000,000 olarak belirtilmiştir. Çorumda bulunan 136 civarında tavuk çiftliğinden 88'i faal olarak üretim yapmaktadır. Toplam günlük tavuk gübresi miktarı 350-400 ton civarında (175 g/tavuk) olup, normal sistemde çalışan bir kümeden çıkan gübrenin yaklaşık % 75'i nemdir. Bu durum eti için üretilen tavuğun civciv halinden itibaren yaklaşık 2 kg ağırlığa kadar geçen süreç içinde ürettiği katı atık miktarının doğal olarak sürekli ergin durumda olan yumurta tavuklarının ürettiği atık miktarından daha az olmasından kaynaklanmaktadır. Çorum ilindeki halen faaliyette olan önemli tavukçuluk işletmeleri, yerleri ve hayvan sayıları Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7. Çorum ilinde mevcut tavukçuluk işletmeleri ve katı atık bilgileri

*İşletme sahibinin adı	Adresi	hayvan sayısı	**katı atık miktarı, kg/gün	mevcut bertaraf yöntemi
Aker Gıda	İskilip Yolu 6.km	24000	4200	gübre olarak satılır veya biriktirilir
Özgül Tavukçuluk	İskilip Yolu 6.km	16000	2800	
Özuslu Tavukçuluk	İskilip Yolu 6.km	27500	4812	
Ceriloğlu Tavukçuluk	İskilip Yolu 6.km	32400	5670	
Kip Gıda Sanayii	İskilip Yolu 6.km	24200	4235	
Şimşekler Tavukçuluk	İskilip Yolu 6.km	42250	7394	
Ertav Tavukçuluk	İskilip Yolu 6.km	16000	2800	
Onur Tavukçuluk	İskilip Yolu 6.km	26000	4550	
Alibaba Tarım Tic.San.	İskilip Yolu 6.km	8000	1400	
Kısmet Tavukçuluk	İskilip Yolu 6.km	32400	5670	
Kubatoğlu Tar.Tic.San.	İskilip Yolu 6.km	60800	10640	
Layık Tavukçuluk	İskilip Yolu 6.km	16000	2800	
Tutkunlar Tavukçuluk San.	Çanakçı Köyü Yolu	14400	2520	
Anadolu Taahhüt Gıda San.	Eskiekin Köyü	18000	3150	
Emekçioğulları Gıda San.	İskilip Yolu 6.km	25600	4480	
Yarımca Tavukçuluk	Gazi Cad.No:46	21600	3780	
İkipinar Tar.Tic.Ltd.Şti.	Çanakçı Köyü Yolu	20600	3605	
Duranlar Tavukçuluk	Buluş Köyü	54900	9608	
Karaali Tarım San.	Kiremit Han No:4	8000	1400	
Bayramoğlu Tavukçuluk	Hıdırlık Civarı No:190	24000	4200	
Bilgin Çiftçi Tavukçuluk	Samsun Yolu 14.km	16000	2800	
Halk Tavukçuluk	Ankara Yolu 16.km	16000	2800	
Zirve Tavukçuluk	Samsun Yolu 14.km	13400	2345	
Demiral Tavukçuluk	Ankara Yolu 14.km	16600	2905	
Uğurlu Tavukçuluk	Ankara Yolu 14.km	16600	2905	
Çetinkayalar Tavukçuluk	Tatar Yolu 16.km	17650	3089	
Övünç Tavukçuluk	Ankara Yolu 20.km	16000	2800	
Sercan Tavukçuluk	Ankara Yolu 15.km	24000	4200	
Yenigün Tavukçuluk	Ankara Yolu 7.km	32000	5600	
Ortadoğu Neco Tavukçuluk	Ankara Yolu 12.km	12800	2240	
Çorum Yıldırım Tavukçuluk	Ankara Yolu 16.km	24000	4200	
Karsa Tavukçuluk	Ankara Yolu 19.km	16000	2800	
Beşel Tavukçuluk	Ankara Yolu 14.km	23000	4025	
Firuzoğlu Tavukçuluk	Organize Sanayi Yanı	24000	4200	
Uğur Hayvancılık San.	Ankara Yolu 20.km	16100	2818	
Cansu Tavukçuluk	Ankara Yolu 22.km	28800	5040	
Soysallar Gıda	Ankara Yolu 23.km	32200	5635	
Pınar Tavukçuluk	Ankara Yolu 16.km	12800	2240	
Yılmazlar Tavukçuluk	Ankara Yolu 15.km	27650	4839	
Arkadaş Tavukçuluk	Cemilbey Yolu 10.km	24000	4200	
Aday Besicilik	Cemilbey Yolu 7.km	8000	1400	
İkram Tavukçuluk	Cemilbey Yolu 7.km	18400	3220	
Kargı Tavukçuluk	Cemilbey Yolu 7.km	13600	2380	
Ayvaz Tavukçuluk	Cemilbey Yolu 7.km	26400	4620	
Arzum Tavukçuluk	Cemilbey Yolu 8.km	24000	4200	
Çorum Güney Tavukçuluk	Samsun Yolu 13.km	16000	2800	
İsmet Tavukçuluk	Alaca Yolu 23.km	16000	2800	
Lider Tavukçuluk	Cemilbey Yolu 7.km	16000	2800	
Çelik Tavukçuluk	Cemilbey Yolu 5.km	16000	2800	
Çorum Kubatlar	Cemilbey Yolu Yaydığı	18000	3150	

Tablo 3.7. Çorum ilinde mevcut tavukçuluk işletmeleri ve katı atık bilgileri (devam)

*İşletme sahibinin adı	Adresi	hayvan sayısı	**katı atık miktarı, kg/gün	mevcut bertaraf yöntemi
Aze Tar.Ürün.	Cemilbey Yolu 7.km	8000	1400	gübre olarak satılır veya biriktirilir
Çalışkan Tavukçuluk	Cemilbey Yolu 6.km	26400	4620	
Duru Tavukçuluk	Cemilbey Yolu 3.km	34850	6099	
Ümit Tavukçuluk	Cemilbey Yolu 8.km	8000	1400	
Senemoğlu T.	Cemilbey Yolu 7.km	20750	3631	
Reyhan Tavukçuluk	Cemilbey Yolu 6.km	16000	2800	
Cemekler T.	Cemilbey Yolu 6.km	8000	1400	
Şifa Tavukçuluk	Serpin Köyü Yolu	18000	3150	
Huzur Tavukçuluk	Eskiekin Köyü	16000	2800	
Gökar Tavukçuluk	Bayat Köyü Yakacık	24000	4200	
Hacıoğulları T.	Osmancık Yolu 6.km	24000	4200	
Kral Tavukçuluk	Çatak Yolu 2.km	16000	2800	
Seçkin Tavukçuluk	Osmancık Yolu 5.km	24000	4200	
Diker Tavukçuluk	Osmancık Yolu 6.km	12000	2100	
Toplam		1 365 050	238 885	

* Bu listede faal olan işletmelerden ismi değişmemiş ve sağlıklı bilgi edinilebilenleri verilmiştir.

** Üreticilerden alınan bilgi çerçevesinde bir tavuktan kaynaklanan atık miktarı 175 g/tavuk-gün olarak alınmıştır

Bu veriler çerçevesinde mevcut koşullarda bölgeden yaklaşık 240 t/gün tavuk atığı kaynaklandığı görülmektedir. Ekonomik durumdaki değişimler üretim koşullarını etkilemektedir. Üreticiler tarafından yaklaşık 3 000 000 olarak verilen tavuk sayısı araştırmanın yapıldığı dönemde faal olan çiftlik sayıları dikkate alınarak yaklaşık %50 daha düşük bulunmuştur. Bu durumda 350-400 t/gün olarak ifade edilen katı atık miktarında da azalma olmuştur.

3.2.2. Hayvan atıkları özellikleri

Çorum ilinden alınan tavuk atıkları örneklerinin analiz sonuçları Tablo 3.8’de verilmektedir. Tabloda ayrıca Çorum’da mevcut biyogaz deneme tesisi çıkış gübresinin analiz sonuçları da yer almaktadır. Biyogaz tesisi çıkış gübresinin besin elementleri ve karbon içeriği açısından diğer gübrelere oranla oldukça düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca anaerobik fermentasyon sonucu gübrenin ısı değeri de yaklaşık %50 azalmıştır.

Çorum Belediyesi tarafından kurulmuş olan biyogaz deneme tesisi 1-2 ay çalıştırılarak biyogaz üretilmiş, gübre içinde bulunan ve yumurta kabuğunun sağlamlaşması için yeme ilave edilen mermer tozu sebebiyle reaktör içinde oluşan tortu sonucunda sistem çalışamaz hale gelmiştir. Biyogaz deneme tesisinin çeşitli alternatifler denenerek çalıştırılması gübreden elde edilebilecek biyogaz miktarı, biyogaz alternatifinin faydaları ve olumsuz yönlerinin önceden tahmin edilmesi açısından önemli bir konudur. Tesiste oluşan tortunun sebebi sistemin aşağı akışlı beslenmesi olarak gözükmektedir. Sistemin yukarı akışlı olarak değişken hidrolik yükleme hızlarında beslenmesi biyokütlenin askıda kalmasını temin edeceği için tortu probleminin önlenmesi mümkün olacaktır.

Literatürde önerilen hidrolik yükleme hızı kuvvetli atıklar için (KOİ, kimyasal oksijen ihtiyacı 20000 mg/l) 3 m³/m²-saat'tir (Tilche and Viera,1991). Yine gübreden maksimum gaz oluşumunu sağlamak için 15,10 ve 8 gün olarak üç adet HRT (Hidrolik Bekletme Zamanı) için denenmiş ve en fazla gazın 1.81 l/g KOİ olarak 10 günlük bekletme zamanında elde edilebileceği literatürde belirtilmiştir (Hashimoto,1983). Ayrıca tavuk gübresi ile çalışan biyogaz üretme sistemlerinde organik yükleme hızı 11-15 gKOİ/m³-gün olarak verilmektedir (Young,1991).

Toplam 136 adet çiftliğin %70'i normal, %20'si çift katlı, %10'u ise bantlı sistemdir ve en kaliteli gübre nem içeriğinin düşüklüğü açısından çift katlı kümeslerden çıkmaktadır. Çorum'da tavuk atıklarının bertarafı için en uzak çiftliğe 25 km mesafede 700 hektarlık bir arazinin bulunduğu ancak, bertaraf tesisi kurulması için finansmana gereksinim duyulduğu belirtilmiştir.

Tablo 3.8. Çorum bölgesi tavuk atıkları analiz sonuçları
(örnekleme tarihi: 4.07.2001)

parametre	Örn.	nem (%)	kül (%)	uçucu mad(%)	sabit C(%)	top S(%)	C (%)	H (%)	N (%)	P g/kg	ısı değeri (kJ/kg)
Özuslu Tavukçuluk (tek katlı kümes)	orij.	74.38	8.0	15.61	2.01	0.08	-	-	-	-	-
	kuru	-	31.21	60.93	7.86	0.32	36.25	4.71	3.56	16.7	14108
Yenigün Tavukçuluk (iki katlı kümes)	orij.	8.11	53.14	36.18	2.57	0.29	-	-	-	-	-
	kuru	-	57.83	39.37	2.8	0.32	32.45	4.36	3.72	21.9	10543
biyogaz çıkış gübresi	orij.	1.95	22.75	64.23	11.07	0.14	-	-	-	-	-
Çorum Beled.	kuru	-	23.21	65.50	11.29	0.14	18.64	2.32	0.97	15.6	6232

3.3. Manyas pilot bölgesi

3.3.1. Bölgedeki üretim çiftlikleri ve hayvan sayıları

Manyas, Balıkesir ilinin özellikle hayvancılık açısından gelişmiş bir ilçesidir. İlçede hayvan atıkları Manyas gölü için çevre kirliliği açısından tehlike oluşturmaktadır. Göl, *Sığırcık* ve *Kocaçay* dereleri ile beslenmekte, *Karadere* vasıtasıyla ise Simav çayına tahliye olmaktadır. İlçede büyük ölçüde tavukçuluk yapılmaktadır. İlçedeki tavukçuluk işletmeleri, yerleri ve hayvan sayıları Tablo 3.9'da verilmiştir. İşletmelerde genelde et üretimi amacıyla tavukçuluk yapılmaktadır. Yılda 5-6 dönem et tavukçuluğu, 1 dönem ise yumurta tavukçuluğu üretimi yapıldığı Tarım İl Müdürlüğü tarafından bildirilmiştir. Bir üretim dönemi yaklaşık 45 gün olarak düşünülebilir. Tavuklar 1m² kümes alanında 14-15 adet olarak beslenmektedir. Bir üretim dönemi sonucunda 1 m² kümes alanından 10 kg çeltik altlık+8 kg tavuk atığı kaynaklandığı belirtilmiştir. Bu durumda tavukların civciv halinden kesime uygun hale

gelmelerine kadar geçen süreçte tavuk başına yaklaşık 1.25 kg katı atık üretilmektedir (Bu atık yaklaşık 550g tavuk atığı ve 700g çeltik altlık içermektedir).

Tablo 3.9. Manyas bölgesi mevcut tavukçuluk işletmeleri ve katı atık bilgileri

İşletme sahibinin adı	Adresi	*tavuk sayısı	katı atık miktarı, kg/gün	mevcut bertaraf yöntemi
Özen Önler	Tepecik Köyü	6 000	180	boş alanlarda uzaklaştırılmakta veya gübre olarak kullanılmaktadır
Mehmet Bıyıklı	Boğazpınar Köyü	16 000	480	
Abdülvehab Can	Dereköy Köyü	10 000	300	
Mete Eren	Manyas Merkez	7 000	210	
Zeki Koyuncu	Kocagöl Köyü	10 000	300	
Ahmet Koyuncu	Kocagöl Köyü	30 000	900	
Yusuf Çakan	Akçaova Köyü	20 000	600	
Selim Selçuk	Kızıksa Kasabası	15 000	450	
Yusuf İnce	Kızıksa Kasabası	30 000	900	
Ahmet Emin Ilgazlı	Kızıksa Kasabası	60 000	1800	
Seracettin Işıldak	Çamlı Köyü	35 000	1050	
Halim Oruç	Çamlı Köyü	12 500	375	
Sezer Çeri	Tepecik Köyü	11 000	330	
Hüseyin Varna	Kulak Köyü	14 000	420	
Süleyman Duman	Kocagöl Köyü	20 000	600	
Esat Hepşen	Börülceağaç Köyü	20 000	600	
Murat Naycı	Tepecik Köyü	7 000	210	
Ali İhsan Değirmenci	Kocagöl Köyü	10 000	300	
Recep Kahraman	Kocagöl Köyü	10 000	300	
Hasan Tekin	Şevketiye Köyü	40 000	1200	
Naim Güler	Duraköy Köyü	12 000	360	
Mehmet Şenyüz	Süleymanlı Köyü	12 000	360	
Recep Girgin	Dereköy Köyü	20 000	600	
Rafet Ören	Manyas Merkez	25 000	750	
Naim Süleyman Sırrı Ülkü	Cumhuriyet Köyü	10 000	300	
Zekeriya Tok	Yeniköy yolu	50 000	1500	
Kerim Sevinç	Börülceağaç Köyü	20 000	600	
Toplam		532 500	15975	

* Bölgeden alınan bilgilerden yararlanılarak atık miktarı civcivden kesime hazır hale gelene kadar ortalama üretim sürecinde 30 g/tavuk-gün (altlık ve gübre) olarak alınmıştır.

Manyas'ta bulunan büyükbaş ve küçükbaş hayvan çiftlikleri ile bunların barındırdıkları hayvan sayıları ise Tablo 3.10'da gösterilmektedir. Bu Tablo'da yer alan çiftliklerin haricinde ayrıca bölgede çiftlik olarak nitelendirilmeyen yaklaşık 35 kadar küçük üretici bulunmaktadır.

Bu veriler çerçevesinde bölgeden yaklaşık 16 t/gün tavuk gübresi ile 7 t/gün büyükbaş ve küçükbaş hayvan gübresi kaynaklandığı hesaplanmıştır.

Tablo 3.10. Manyas bölgesi mevcut büyükbaş ve küçükbaş hayvan çiftlikleri

İşletme sahibinin adı soyadı	Adresi	hayvan sayısı	katı atık miktarı, kg/gün	mevcut bertaraf yöntemi
Nurhayat Bilten (Biltenler Çiftliği)	Kızıksu kasabası mevkiinde	60 sığır	1200	Gübre veya tezek olarak kullanılmak üzere satılır
Osman Ördekçi (Ördekçi Çiftliği)	Kızıksu kasabası mevkiinde	50 sığır	1000	
İsmail Cem Çoker(Münip Çoker) Çiftliği		50 sığır 750 koyun	3400	
Ahmet Koyuncu (Koyuncu Çiftliği)	Kocagöl köyü	35 sığır	700	
Cevdet Özçakır (Özçakırlar) Çiftliği	Kocagöl köyü	200 koyun	640	
Toplam		195 sığır, 950 koyun	6940	

* literatür verileri (Hart, 1960; TÜBİTAK-MAM Kümes ve Ahır Gübrelerinin Geri Kazanılması ve Bertarafı Projesi-Başlangıç Raporu, Mayıs 2001) ve bölgeden alınan bilgilerden yararlanılarak atık miktarı sığırlar için 20 kg/sığır-gün ve koyunlar için 3.2 kg/koyun-gün olarak alınmıştır.

3.3.2. Hayvan Atıkları Özellikleri

Manyas'ta yaygın olarak yapılan et üretimi amaçlı tavukçuluk kapalı hacimlerde civciv halinde alınan tavukların beslenerek kesime hazır hale getirilmesi şeklinde uygulanmaktadır. Bu süreç yaklaşık 45 günde tamamlanmaktadır. Tavuklar 4-5 cm kalınlığında hazırlanan çeltik tabanlıklar üzerinde yaşamlarını sürdürmektedir. Her 45 günlük besleme dönemi sonunda tavuk atıkları ile çeltik rulo yapılarak karışık halde uzaklaştırılmaktadır. Bu atığın uzaklaştırılması traktörle taşıma ve boş alanlara boşaltma şeklinde yapılmaktadır. Söz konusu uzaklaştırma şekli Kuş gölü ekosistemi dolayısıyla önemli çevre sorunlarına sebep olmaktadır. Atığın uzaklaştırılması için genelde traktör sahiplerine üretici tarafından para ödenmektedir.

Büyükbaş hayvan yetiştirilen ahırlarda ise genelde saman altlık kullanılmaktadır. Dolayısıyla hayvan atıkları bir miktar saman ile karışık durumdadır. Bu atıklar 1-2 haftalık periyotlarda yine bölgede gübre olarak kullanılmak ve tezek yapımı amacıyla satılmaktadır.

Bölgede, etlik piliç üretimi ile büyükbaş hayvan çiftliklerinden katı atık örnekleri alınmıştır. Bu örnekler üzerinde uygulanan analizler ve sonuçları Tablo 3.11'de özetlenmiştir. Ayrıca, TÜBİTAK-MAM Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü tarafından konu ile ilgili olarak daha önce yapılan bir çalışma sırasında yine bölgedeki tavuk kesimhaneleri için etlik piliç üretimi yapan kümeslerden alınan atık örneklerinin analiz sonuçları Tablo 3.12'de verilmiştir.

Tablo 3.11 Manyas bölgesindeki küçük ve büyük baş hayvan atıkları analiz sonuçları
(örnekleme tarihi: 20.06.2001)

Parametre	örnek	nem (%)	kül (%)	uçucu madde(%)	sabit C(%)	top. S(%)	C (%)	H (%)	N (%)	P (g/kg)	ısı değeri (kJ/kg)
etlik piliç	orijinal	26.2	11	53	9.7	0.4	-	-	-	-	14311
çeltik altlık-gübre	kuru	-	15	72	13.2	0.6	40.5	5.6	4.1	12.1	17364
büyükbaş hayvan atığı	orijinal	15.3	16	55.4	13.3	0.3	-	-	-	-	15022
	kuru	-	19	65.3	15.7	0.4	38.5	5.1	0.9	7.0	17727

Tablo 3.12 Manyas Bölgesindeki tavuk atıkları analiz sonuçları
(*örnekleme tarihi: Aralık 2000)

parametre	örnek	nem(%)	Kül(%)	uçucu madde(%)	sabit C(%)	toplam S(%)	ısı değeri (kJ/kg)
çeltik altlık-tavuk atığı	orijinal	26.1	10.8	51.9	11.2	0.4	12837
örnek: 1	kuru	-	14.6	70.3	15.1	0.6	17372
çeltik altlık-tavuk atığı	orijinal	46.8	11.4	34.3	7.5	0.35	8548
örnek: 2	kuru	-	21.5	64.5	14.1	0.65	16080
tavuk atıkları (dışkı harici, rendering)	orijinal	10.9	10.4	70.7	8.0	1.04	20565
	kuru	-	11.7	79.3	9.0	1.17	23075

* Örnekleme tarihi Aralık 2000 olup Kümes ve Ahır Gübrelerinin Geri Kazanılması ve Bertarafı Projesinin başlamasından önce TÜBİTAK-MAM ESÇAE tarafından araştırma amacıyla yapılan bir çalışmanın sonuçlarını içermektedir. C, H, N, P parametreleri analizleri yapılmamış olup örnekler kuru madde, uçucu madde ve ısı değerleri açısından incelenmiştir.

Bölgede dışkı haricindeki tavuk atıkları (tüy, gaga, ayak vb) ısıtma ve parçalama süreçlerinden oluşan rendering işlemine tabi tutulduktan sonra hayvan yemi olarak kullanılmak üzere satılmaktadır. Rendering işlemi sonrası bu atıklardan da örnek alınmış ve tavuk dışkısı üzerinde yapılan analizler uygulanmıştır. Tablolarda orijinal örnek (alındığı gibi) ve kurutulmuş örnek için parametreler ayrı verilmiştir. Kurutulmuş örnek hayvan dışkısının 107°C etüvde 10-12 saat kurutulması ile hazırlanmıştır. Elemental analizler yalnız kurutulmuş ve öğütülmüş katı atık örnekleri üzerinde uygulanmıştır.

Bölgeden alınan katı atık örneklerinde yapılan analizlerin sonucunda tavuk atığının nem miktarı %26-47 arasında bulunmuş olup, bu sonuç literatürde verilen aralıklar çerçevesinde kalmaktadır (Hart, 1960; Baban ve diğerleri, 2001). Nem değerindeki farklılık örneğin kümesin değişik noktalarında ve çeltik yatağın farklı derinliklerinden alınmasından kaynaklanmıştır. Genelde çeltik yatağın üst kısmında nem daha yüksek, alt tabakalara doğru ise daha azdır. Bu sonuçlar çerçevesinde tavuk atığının katı madde oranı %53-74 arasında değişmektedir.

Büyükbaş hayvan atığı nem oranı ise atığın saman ile karışık olarak bulunmasından dolayı literatür değerlerine (katı madde %15, nem %85) göre oldukça düşük olarak bulunmuştur. Tavuk ve büyükbaş hayvan atıkları için organik maddenin bir göstergesi olan uçucu madde oranları ise kuru örnekte % 65-70 arasında değişmektedir. Bu bölgedeki Tavuk atığındaki azot oranı büyükbaş hayvan atığına göre yaklaşık 4 kat daha yüksek olarak bulunmuş olup bu durum tavuk katı atıklarının gübre değerini arttırmaktadır.

3.4. Hayvan atıkları karakterizasyonu çalışması sonuçlarının değerlendirilmesi

Kümes ve ahır gübrelerinin Geri Kazanılması ve Bertarafı Etüd Projesi kapsamında ülkemiz genelinde seçilen pilot bölgeler için

- *Büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan üretim miktarları,*
- *Üretim yöntemleri,*
- *Hayvanlardan kaynaklanan katı atık miktarları,*
- *Katı atıklar için mevcut uzaklaştırma koşullarının belirlenmesi,*
- *Bu atıkların potansiyel çevre kirliliği ve enerji üretme kapasitesi açısından örnekleme ve analiz çalışmaları*

konularında bir dizi çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla güncel bilgilerin elde edilebilmesi için detaylı anket formları hazırlanarak üreticilere dağıtılmıştır. Ayrıca, bölgelere gidilerek, üreticiler, üretici birlikleri, Çevre İl Müdürlükleri, Tarım İl Müdürlükleri ziyaret edilmiş, buralardaki mevcut bilgiler alınmıştır. Bölgelerden kaynaklanan değişik hayvan katı atıklarından temsil edici nitelikte örnekler toplanmış, ve bu örnekler üzerinde atığın katı madde içeriği, uçucu madde miktarı, besin elementleri miktarı ve karbon miktarı analizleri gerçekleştirilmiştir. Bölgeler bazında söz konusu bilgiler karşılaştırmalı olarak Tablo 3.13'de özetlenmektedir.

Tavuk üretiminden kaynaklanan katı atıklar üretim amacı (tavuğun et veya yumurta için üretimi) ve üretim koşullarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Genelde, çeltik, saman ve talaş altlık kullanılarak yapılan et tavuğu üretimlerinde atığın içerdiği katı madde miktarı yaklaşık %75 olarak ölçülmüştür. Büyükbaş hayvan gübrelerinin içerdiği katı madde miktarı %85 olarak bulunmuştur. Kayseri ilinden alınan büyükbaş hayvan gübresi örneğinde ise su kullanılarak gübre taşınması yapıldığından katı madde miktarı düşük olarak bulunmuştur. Tavuk katı atıklarının içerdikleri azot oranı literatürde %6.3 olarak verilmektedir (Gootas,

1956; Fry and Merrill, 1973; NAS, 1977). Bu çalışma kapsamında yapılan analiz sonuçlarına göre ise değişik örneklerdeki toplam azot içeriği % 2.4-4.5 (Tablo 3,4,6,8,10) arasında değişmiştir. Üretimde saman, talaş veya çeltik altlık kullanımı dikkate alınırsa azot içeriğinin bir miktar düşük bulunması normaldir.

Tablo 3.13. Bölgelere göre hayvan katı atıklarının özellikleri

Bölge/atık	toplam katı madde, %	*uçucu madde, %	*sabit karbon, %	*karbon/azot (C/N)	*ısı değeri, kJ/kg	*katı atık miktarı, t/gün
Manyas etlik tavuk	73.8	72.0	13.2	9.9	17364	16
büyükbaş hayvan	84.7	65.3	15.7	42.8	17727	7
Çorum yumurta tavuk.						
1 katlı kümes	25.6	60.9	7.9	10.2	14108	240
2 katlı kümes	91.9	39.4	2.8	8.7	10543	(toplam)
Kayseri etlik tavuk (talaş/saman altlık ortalama)	74.9	73.2	15.1	10.0	17713	19
yumurta tavuk. (işlenmemiş)	20.0	66.0	9.6	15.6	13532	140
büyükbaş hayvan	17.2	68.8	14.9	20.0	16910	270

* kurutulmuş örnek analiz sonuçlarıdır.

Katı atığın biyolojik prosesler sırasındaki davranışını belirlemekte kullanılan önemli bir parametre olan karbon/azot (C/N) oranı ise her üç bölgede et ve yumurta tavuğu üretimleri için 9-15 arasında değişmiştir. Genel olarak kompostlama için ideal C/N oranı 30:1 olarak verilmektedir. Daha düşük oranlarda ortamda gerekenden fazla bulunacak olan azot amonyak gazı formunda istenmeyen kokuya sebep olarak ortamdan ayrılır. C/N oranının yüksek olması durumunda ise, ortamdaki mikrobiyolojik popülasyonun optimum koşullarda büyümesi için yeterli azot bulunmayacağından, kompost göreceli olarak daha soğuk kalır ve parçalanma daha düşük bir hızda devam eder. Kompostlama süreci ilerledikçe C/N oranı son ürün için 10-15:1 düşmektedir. Bunun nedeni, organik bileşenlerin mikroorganizmalar tarafından parçalanması sırasında kullanılan karbonun yaklaşık 2/3'ünün karbon dioksit olarak atmosfere verilmesidir. Geri kalan 1/3 oranındaki karbon ise azot ile birlikte yeni hücre yapılarının oluşturulmasında kullanılır, bunlar hücrelerin ölmesi ile serbest bırakılırlar.

Hayvan gübrelerinin kompostlanması sonucu elde edilen kompostun bileşenleri için C/N=5-24:1 olarak literatürde verilmektedir (Topkaya, 2001). Hayvan atıklarının havasız koşullarda çürütülmesi sürecinde optimum C/N oranı 20:1 ile 30:1 arasında verilmektedir (Hammad ve diğerleri, 1999). Bazı kaynaklar ise minimum C/N oranını 16:1 olarak tanımlamıştır (Sanders ve diğerleri, 1965). İnek gübresi için C/N oranı literatürde 18:1 olarak verilmiştir (Gootas, 1956; Fry and Merrill, 1973; NAS, 1977). Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar büyükbaş hayvan gübreleri için bu oranın sağlandığı ancak tavuk gübreleri için gerek kompostlama gerekse havasız koşullarda çürütme süreçleri için C/N oranının yaklaşık %50 düşük olduğunu göstermektedir. Bu durumda proses yönetiminde tavuk gübrelerinin kompostlama ve havasız çürütme süreçlerinde dışarıdan organik madde eklenmesi gerekecektir. Bu amaçla endüstriyel, evsel organik atıklar, atıksu arıtma sistemlerinden kaynaklanan çamurlar ve tarım sektöründen kaynaklanan atıklar kullanılabilir.

Yumurta tavukçuluğu sürecinden kaynaklanan katı atıklar %20-25 oranında katı madde içermektedirler. Çorum ilimizde çift katlı kümes sistemi ile yapılan yumurta tavukçuluğu atıklarının katı madde oranı yüksek olmasına rağmen bu tür tavukçuluk yaygın değildir. Toplam yumurta tavukçuluğunun ancak %20'si çift katlı sistem kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu durumda yumurta tavukçuluğu atıklarının yüksek nem oranı sebebiyle gazlaştırma ve yakma şeklindeki bertaraf proseslerine uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Yakma veya gazlaştırma prosesleri uygulamalarında sistem seçimine bağlı olarak atığın %8-40 oranında nem içermesi ve sistem için öngörülen tane boyutuna sahip olması gerekmektedir. Bu koşulların sağlanabilmesi için yumurta tavukçuluğundan kaynaklanan katı atığa kurutma+presleme+briketleme işlemlerinin uygulanması gerekir. Bu işlemler ise prosese ek ilk yatırım ve işletme maliyeti getirecektir.

Kayseri ilimizde yumurta tavukçuluğundan kaynaklanan atıklara mevcut durumda kurutma, havalı koşullarda çürütme (fermentasyon) ve fermentasyon sonrasında pelletleme işlemleri uygulanmaktadır. Pelletler yaklaşık %17 nem içermektedir (Tablo 10). Ancak, havalı koşullarda çürütme prosesinde okside olan karbon dolayısıyla peletlenmiş gübrenin ısı değerinde yaklaşık %35 oranında azalma belirlenmiştir (Tablo 10). Bu nedenle Kayseri bölgemizden kaynaklanan işlenmiş yumurta tavukçuluğu atığının gazlaştırma ve yakma prosesleri açısından uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

Manyas bölgesinden kaynaklanan etlik tavuk ve büyükbaş hayvan katı atıkları ise gerek yüksek katı madde oranı gerekse yüksek ısı değere sahip olması sebebiyle gazlaştırma ve yakma proses alternatifleri için uygun özelliktedir. Gazlaştırma prosesi ilk yatırım giderleri açısından yakma sistemlerine göre çok daha pahalıdır. Buna karşılık emisyonlar açısından ise yakma sistemlerine oranla çok daha çevre dostu bir prosestir. Prosesten amaç ısı enerjisi dönüşümü ve bunu kullanmak ise yakma işlemi, elektrik+ısı enerjisi dönüşümü ve bunu kullanmak ise gazlaştırma işlemi daha uygun bir çözüm olacaktır. Bu çerçevede değerlendirme yapıldığında Manyas ilçemizden kaynaklanan etlik tavuk ve büyükbaş hayvan gübresi atıklarına pilot düzeyde gazlaştırma sürecinin uygulanması öngörülmüştür.

Çorum ilimizden büyük miktarda yumurta tavukçuluğu katı atığı kaynaklanmaktadır. Uygun C/N oranının dışarıdan sağlanması koşuluyla söz konusu atık kompostlama veya havasız ortamda çürütme proseslerine uygun özelliktedir. Bölgede üreticiler birliği tarafından kompost tesisi kurulması yönünde girişimler bulunmaktadır. Tavuk atıklarının besin elementi içeriğinin büyükbaş hayvan atıklarına oranla daha yüksek olduğu dikkate alınarak, bu durumun üretilecek olan kompostun da özelliklerini olumlu yönde etkileyeceği dolayısıyla bu ilimizde kompostlama prosesi için pilot ölçekte fizibilite çalışması yapılması öngörülmüştür.

Kayseri ilimizden büyük ölçüde yumurta tavukçuluğu ve büyükbaş hayvan atığı kaynaklanmaktadır. Her iki atığında toplam uçucu katı madde konsantrasyonlarının yüksek olması havasız çürütme işleminde metan gazı üretimini arttıracaktır. Bu durumda Kayseri Bölgemizden kaynaklanan hayvan atıklarının havasız çürütme prosesi ile stabilizasyonu ve aynı zamanda enerji elde edilmesi konusunda fizibilite çalışmasının yapılması öngörülmüştür. Sonuç olarak, *Kümes ve Ahır Gübrelerinin Geri Kazanılması ve Bertarafı Projesi* çerçevesinde,

- *Gazlaştırma prosesi*
Manyas ilçesindeki etlik tavuk ve büyükbaş hayvan atıkları üzerinde
- *Kompostlama prosesi*
Çorum ilindeki yumurta tavukçuluğu atıkları üzerinde
- *Havasız çürütme ve çürütülmüş çamur nihai bertaraf yöntemi*
Kayseri ilindeki büyükbaş hayvan ve tavuk atıkları üzerinde

uygulanarak fizibilite çalışmaları yapılmıştır.

4. PİLOT BÖLGELER İÇİN HAYVAN ATIKLARI BERTARAF SİSTEMLERİNİN FİZİBİLİTE ÇALIŞMALARI

4.1. Kayseri Pilot Bölgesi – Havasız Çürütme Yöntemi

Hayvan atıkları için bir havasız çürütme projesi geliştirilmesinin ilk adımı bu sistemden faydalanacak olan bölge halkının motivasyonundan başlaması gerektiği önerilmiştir. Teknik fizibilite çalışması haricinde aşağıdaki unsurlardan oluşan ekonomik değerlendirmenin yapılması gerekmektedir.

- *Havasız çürütme sistemine atık sağlayacak yeterli sayıda çiftlik bulunması ve atık miktarının sürdürülebilirliği,*
- *Çürütücüden kaynaklanacak sıvı atık için bertaraf şekli (gübre olarak araziye püskürtme veya bir arıtma sisteminde arıtma)*
- *Çürütme sonucu oluşan (susuzlaştırılmış) kek için gübre olarak kullanım olanağı*
- *Çürütme sonucu elde edilecek biyogaz (veya elektrik), ve ısının kullanım alanı*
- *Çürütme sisteminin boyutları, alan gereksinimi, biyogaz/elektrik, ısı üretme kapasitesi*
- *Taşıma giderleri ve lojistik*

Kayseri pilot bölgesi için söz konusu kriterler çerçevesinde havasız çürütme sistemi tasarımı ve fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir.

4.1.1 Katı atıkların özellikleri ve 2020 yılı için değerlendirme

Kayseri bölgesinden kaynaklanan etlik tavuk üretimi, yumurta tavuğu üretimi ve büyükbaş hayvan katı atıklarının mevcut durumdaki toplam miktarı 430 t/gün'dür. 2020 yılı için durum değerlendirilmesi büyük kapasiteli üretim çiftlikleri ve Tarım İl Müdürlüğü ile görüşülerek yapılmış ve her türlü hayvan kapasitesinde %25 artış öngörülmüştür. Bu durumda hesaplanan katı atık miktarları ve kompozit katı atık örneği ile ilgili değerler Tablo 4.1'de verilmiştir.

Bölgeden 2020 yılı için 540 ton/gün hayvan katı atığı kaynaklanması öngörülmüştür. Tüm atıkların ağırlıkları oranında karıştırılmasından elde edilen kompozit örnek için C/N oranı 18.1 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda havasız çürütme prosesi için literatürde verilen kriter sağlanmaktadır (Hammad ve diğ., 1999; Sanders ve diğ., 1965; Gootas, 1956 Fry ve Merrill, 1973; NAS, 1977). Ancak, kompozit örneğin toplam katı madde miktarı havasız çürütme prosesi için yüksektir. Proses için toplam katı madde miktarı literatürde %6-12 olarak verilmiştir (Vlugt ve Rulkens, 1984; Kiely, 1984). Bu durumda proses öncesi katı madde konsantrasyonunu düşürmek amacıyla katı atığa su eklenmesi gerekecektir.

Tablo 4.1. Kayseri Bölgesi hayvan katı atıkları özellikleri (2020 yılı)

gübre/parametre	Toplam katı madde, %	*uçucu madde, %	*sabit karbon, %	*fosfat, P, g/kg	*Toplam karbon, %	karbon/azot (C/N)	ısı değeri, kJ/kg	katı atık miktarı, t/gün
etlik tavuk (talaş/saman altlık ortalama)	74.9	73.2	15.1	11.1	42.0	10.0	17713	25
yumurta tavuk. (işlenmemiş)	20.0	66.0	9.6	14.9	36.9	15.6	13532	175
büyükbaş hayvan	17.2	68.8	14.9	6.18	42.4	20.0	16910	340
Σ kompozit	20.7	68.1	13.0	9.2	40.6	18.1	15843	540

*kurutulmuş örnek analiz sonuçlarıdır

4.1.2 Havasız çürütme prosesi tasarımı

Kayseri pilot bölgesinden kaynaklanan kompozit hayvan atıklarının havasız çürütme prosesi tasarımında kullanılan kriterler ve kabuller Tablo 4.2’de verilmiştir. Bu kriterler çerçevesinde yapılan proses tasarımı madde balansı ise Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Proses ile ilgili özellikler, yapım ve işletme sırasında dikkat edilmesi gereken konular ise aşağıda özetlenmiştir.

Çamur hazırlama ve besleme

Tesise taşınan çamur keki ham gübre bunkerleri ile iki adet paralel çalışan gübre hazırlama tanklarına alınacaktır. Burada gübre su ve çürütülmüş çamurun susuzlaştırılması proseslerinden çıkan süzöntü suyu ile karıştırılarak istenilen konsantrasyona getirilecektir. Hazırlanan çamur besleme pompaları ile düzenli şekilde ısıtıcılardan geçirilerek çürütme tanklarına pompalanacaktır.

Çamur çürütme prosesi

Havasız koşullarda çürütme işlemi kapalı, silindirik içten karıştırılmalı tanklarda yapılacaktır. Tank içi sıcaklığı otomatik olarak 35 ± 0.5 °C da tutulacaktır. Tanklar sürekli akış prensibine göre çalışacak, gübre beslemesine bağlı olarak çürümüş çamur taşkanla dışarı alınacaktır. Gübre miktarındaki değişimler, işletme ve yapım kolaylığı ve proses emniyeti açısından 4 adet çürütme tankı proseste öngörülmüştür.

Tablo 4.2. Kayseri pilot bölgesi havasız çürütme prosesi tasarım kriterleri

Parametre	Kriter/kaynak
Ortalama besleme katı madde konsantrasyonu	%8.3 (Vlugt ve Rulkens, 1984; Kiely, 1984).
Çürütücüde hidrolik bekletme süresi	20-40 gün (Vlugt ve Rulkens, 1984) 25 gün olarak kabul edilmiştir.
Çürütücü sıcaklığı	35 ±0.5 °C
Proses sonucu toplam katı madde giderimi	%50 (Vlugt ve Rulkens, 1984)
Proses sonucu uçucu katı madde giderimi	%40 (Vlugt ve Rulkens, 1984)
Gaz üretimi	0.46 m ³ /kg- eklenen uçucu katı madde (Kiely, 1984) 200 m ³ CH ₄ / ton katı madde (Dagnall ve diğ, 2000)
Üretilen gazdaki CH ₄ oranı	%55-60 (Kiely, 1984; Baban, 1981)
Enerji üretimi	1 m ³ CH ₄ ≈ 10 kWh (Dagnall ve diğ., 2000)
Enerji dönüşüm verimi	%15

Çürütme tankları içine hava girişini önlemek ve oluşan biyogazın akışını sağlamak üzere çürütme tankları pozitif basınç altında tutulacaktır. Çürütme sırasında oluşan biyogazın içerdiği metan gazının yanıcı ve patlayıcı özelliğinden dolayı tank çevreleri ve tesisin gerekli bölgeleri *Avrupa Birliği Norm ve Standartlarının* gereklerine göre tehlikeli bölgelere ayrılarak, buralarda yer alacak her türlü elektrik ekipmanı ve enstrümanlar tehlikeli bölgede (Ex) çalışmaya uygun nitelikte seçilmelidir.

Çürütme tankları karıştırma sistemi

Çürütme tankları içinde homojen bir ortam sağlama ve çürütme prosesi işle gaz çıkışının optimum koşullarda sürdürülmesi amacıyla gaz sirkülasyonlu bir karıştırma sistemi öngörülmüştür. Gaz sirkülasyonu için gaz kompresörleri kullanılacak ve sirküle edilen gaz tank içinde dengeli şekilde dağıtılacaktır.

Çürütme tankları ısıtma sistemi

Çürütme tankları içinde sıcaklığın 35°C tutulmasının sağlanması için çamur sirkülasyonlu eşanjörler kullanılacaktır. Çamur sirkülasyonu çamur pompaları ile sağlanacaktır. Isıtmada sıcak su kullanılacaktır. Sıcak su normal çalışma koşullarında elektrik jeneratörü motor ve eksoz soğutma sisteminden elde edilecektir. İlk işletmeye alma ve arıza durumlarında

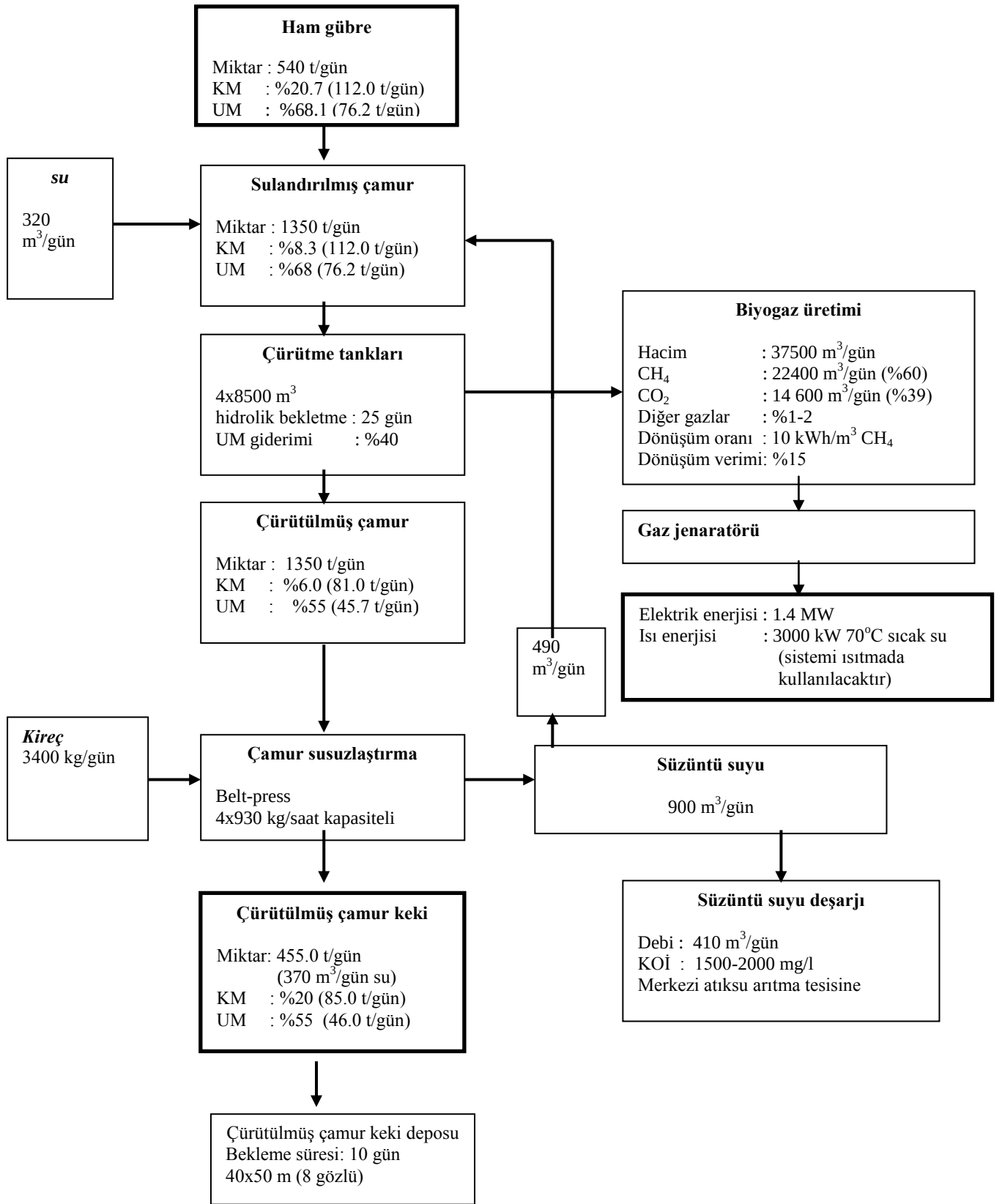
kullanılmak üzere biyogaz veya LPG ile çalışan yedek bir sıcak su kazanı bulundurulmalıdır. Sıcak su sistemi ve ısıtma tam otomatik olmalıdır.

Biyogaz toplama sistemi

Havasız çürütme tanklarında üretilen biyogaz bir jeneratör ünitesinde yakılarak elektrik enerjisi üretilenektir. Ünite şebeke ile asenkronize çalışarak tesisin elektrik gereksinimini karşılayacaktır. Fazla enerji önceden belirlenecek tüketim alanlarında kullanılabilir. İstenildiği takdirde şebeke ile paralel olarak senkronize çalışması ve üretilen fazla enerjinin şebekeye taşınması mümkündür. Ünite motor ve eksoz soğutma sistemi ile donatılacak ve kazanılan ısı (sıcak su) havasız çürütme tanklarının ısıtılmasında kullanılacaktır. Fazla ısının tasfiyesi için hava soğutmalı bir radyatör grubu bulunacaktır.

Çürütülmüş çamur tasfiyesi

Çürütme tanklarından çıkan çamur gravite ile çamur toplama ve yoğunlaştırma tanklarına alınacak, burada toz kireç ilave edildikten sonra belt preslerde susuzlaştırılacaktır. Susuzlaştırmayı kolaylaştırmak ve çamurdaki katı madde miktarını arttırmak için bir miktar kireç kullanılabilir. Kireç ilavesi gübrenin verileceği toprağın özellikleri dikkate alınarak yapılmalıdır. Gübre özelliklerinin olumsuz yönde etkilenebileceği koşullarda kireç kullanılmamalı yada miktarı azaltılmalıdır.



Şekil 4.1. Kayseri havasız çürütme sistemi madde dengesi

4.1.3. Kayseri havasız çürütme sistemi birimlerinin özellikleri

Kayseri pilot bölgesi hayvan katı atıkları için öngörülen havasız çürütme prosesi yöntemi için tasarımı yapılan arıtma üniteleri ile ilgili özellikler Tablo 4.3' de özetlenmiştir.

Tablo 4.3. Kayseri pilot bölgesi havasız çürütme prosesi birimlerinin özellikleri

Birim	Özellik
tanım işlev	ham gübre kabul bunkerı gübrenin ilk boşaltım yeri, gübrenin gübre hazırlama ünitesine aktarılmasının sağlanması
adet	2
malzeme	çelik
kapasite	25 m ³
ekipman	gübre aktarma konveyörü (helezon), 50 t/saat, 2 adet, 1.5kW
tanım işlev	ham gübre hazırlama tankı gübrenin toplanması, su ile karıştırma ve havasız çürütme için hazırlık
adet	2
malzeme	betonarme
hacim	2x600 m ³
boyutlar	10.0x20.0x3.4 m (yükseklik), 0.4 m hava payı
ekipman	<i>mekanik karıştırıcı</i> , her tankta 2 adet, 5.5 kW <i>çürütme tankları besleme pompaları</i> , 2 asıl, 1 yedek, Q=120 m ³ /saat, Hm=25m, 12kW, pozitif deplasmanlı çamur pompası, hız kontrolü seviye kontrolü
tanım işlev	havasız çürütme tankları gübrenin havasız koşullarda mikroorganizma faaliyeti sonucu stabilizasyonu, gaz elde edilmesi
adet	4
malzeme	çelik, ısı izolasyonlu
hacim	4x8500 m ³
boyutlar	Ø24.0x20.0 m (1.0 m hava payı)
ekipman	<i>çamur ısıtma eşanjörleri</i> , her çürütme tankı için 1 adet (750 kW kapasiteli, tesiste üretilen sıcak su kullanılacaktır) <i>çamur sirkülasyon pompaları</i> , her tank için 1 adet (+ 2 yedek, tüm tesis için) Q=200 m ³ saat, Hm=10 m, 9.4 kW <i>gaz kompresörü</i> , her tank için 2 adet (+ 2 yedek, tüm tesis için) Q=750 m ³ /saat, ΔP=200.0 kPa, 37.5 kW, molar debi 31.7 kgmol/saat (%60 CH ₄ , %40 CO ₂ için)
tanım işlev	gazometre Havasız çürütme tanklarında üretilen gazın toplanması ve jeneratöre gönderilmesi
adet	2
malzeme	çelik
kapasite	3000 m ³ , çelik, su sızdırmaz özellikte, 200 mm SS basınçlı

Tablo 4.3. Kayseri pilot bölgesi havasız çürütme prosesi birimlerinin özellikleri (devam)

Birim	Özellik
tanım işlev adet kapasite ekipman	gaz jeneratörü enerji üretimi 1 1400 kW + 3000 kW (70°C sıcak su) ısı geri kazanım sistemi, fazla ısı tasfiye radyatörü, kumanda sistemi
tanım işlev adet malzeme ekipman	sıcak su kazanı jeneratörde oluşan atık ısıdan sıcak su elde edilmesi 1 çelik 2000 kW, biyogaz ve LPG brülörü
tanım işlev adet malzeme	fazla gaz yakma ünitesi enerji üretimi için kullanılmayan atık gazın yakılması (arıza vb durumunda) 1 çelik
tanım işlev adet malzeme boyutlar ekipman	çürütülmüş gübre toplama tankı çürütülmüş gübrenin toplanması, yoğunlaştırılması ve belt preslere basılmasının sağlanması 2 betonarme Ø20.0 mx3.5 m yükseklik (0.4 m hava payı) sıyırıcı, yavaş karıştırıcı, 2.0 kW
tanım işlev adet malzeme kapasite ekipman	belt-pres çürütülmüş çamurun susuzlaştırılarak kek (gübre) haline getirilmesi 4 çelik 950 kg/saat katı madde yükleme belt pres pompaları, 4 asıl, 1 yedek, Q=15 m ³ /saat, Hm=10.0 m, 3.0 kW, pozitif deplasmanlı, hız kontrol kumandalı kumanda sistemi, kek konveyörleri kireç silosu, pneumatik yükleme sistemi, basınçlı hava kompresörü, hız kontrol kumandalı besleme düzeneği ve helezonu, belt pres binası, 10.0x30.0 m, yerleşim alanı

Tablo 4.3. Kayseri pilot bölgesi havasız çürütme prosesi birimlerinin özellikleri (devam)

Birim	Özellik
tanım	Genel enstrümantasyon 4 adet çamur debimetresi, 4 adet gaz debimetresi, 4 adet alev kapağı, 4 adet kondens kapağı, 4 adet basınç/vakum vanası, 1 adet gaz-duman detektörü, alarm ünitesi, ultrasonik, kondaktivite ve proximate tipi çeşitli seviye kontrol cihazları
tanım	çürütülmüş çamur keki deposu ve paketleme sistemi
işlev	çürütülmüş çamur için bekletme alanı, ve paketleme
adet	1
malzeme	zemin grobeton, çelik konstrüksiyon, çatı
boyutlar	40.0x50.0m (8 gözlü) + 6.0x12.0m paketleme holü
tanım	idare binası ve laboratuvar
özellikler	10.0x30.0 m yerleşim alanı, tek katlı, içinde bir laboratuvar ve bir atelye bulunan, betonarme bina

Öngörülen hayvan gübresi çürütme sistemine ait enerji dengesi ise Tablo 4.4’de verilmektedir.

Tablo 4.4. Kayseri hayvan gübreleri havasız çürütme sistemi enerji dengesi

Proseste kullanılan enerji	Üretilen enerji
gübre kabul-aktarma: 3.0 kW gübre hazırlama: 4x5.5=22.0 kW gübre besleme: 2x12.0 kW+12.0 kW (yedek) çürütme: 8x37.5 kW+2x37.5 kW (yedek) 4x9.4 kW+2x9.4 kW (yedek) çürütülmüş gübre: 2x2.0 kW belt pres: 4x3.0 kW+1x3.0 kW (yedek) 4X2.0 kW (belt pres tahrik) 2x3.0 kW (kireç hazırlama besleme) idare binası, depo-laboratuvar: 7.5 kW aydınlatma vb: 10.0 kW	1400 kW 3000 kW (yaklaşık 2000 kW sıcak su, çürütücüleri ısıtmak amacıyla kullanılacaktır)
425 kW (kullanılan güç) 545 kW (kurulu güç)	net üretim: 975 kW elektrik ~1000 kW sıcak su (70°C)

4.1.4 Kayseri hayvan gübreleri havasız çürütme sistemi maliyet analizleri

Çürütme sistemi maliyeti oluşturan ana faktörler proje geliştirme giderleri, ilk yatırım maliyeti, eğitim ve işletme giderleri olarak özetlenebilir. Projenin gelir getirmesi beklenen kalemleri ise üretilen elektriğin satışından beklenen gelir, jeneratörden oluşacak sıcak suyun ekonomik olarak değerlendirilmesi ve havasız çürütme prosesi sonucu çürütülmüş çamur kekinin gübre veya toprak şartlandırıcısı olarak satışından elde edilebilecek gelirdir.

İlk yatırım maliyeti

Bir havasız çürütme sisteminin ilk yatırım maliyeti çok çeşitli değişkenlere bağlıdır. Sistemde kullanılacak cihazlar korozyona dayanıklı yüksek kalitede ve uzun kullanım süresine sahip olmalıdır. Bu durum maliyeti etkiler. Aynı şekilde, saha hazırlanması, zemin ıslahı ve çürütücülerin kurulacağı alanın peyzaj özelliklerinin iyileştirilmesi proje kapsamında maliyet unsuru olarak değerlendirilmelidir. Proje geliştirme giderleri arasında teknik, yasal ve planlama alanlarında alınacak danışmanlık hizmetleri, gerekli izinler, finansal faaliyetler (finans sağlamak amacıyla yapılacak araştırmalar), üretilen elektriğin satışı için yapılacak bağlantılar sayılabilir.

Havasız çürütme sistemi projelerinde görev alacak kişilerin projenin büyüklüğüne bakılmaksızın eğitilmeleri gerekmektedir. Eğitim sistemin emniyet unsurları, yanıcı gaz, basınç, sağlık ve çevre konularını içermelidir. Eğitim bu konudaki yeni gelişmeleri takip etmek ve uygulamak amacıyla sürekli olmalıdır.

Tesisin ilk yatırım maliyetinin hesaplanmasında uluslararası benzer kapasite ve bertaraf yöntemi çerçevesindeki örnek çalışmalardan faydalanılmıştır. Bu çalışmalarda alınan sonuçlar Türkiye koşulları doğrultusunda modifiye edilmiştir. Havasız çürütme sisteminin ilk yatırım maliyetinin hesaplanmasında baz alınan kriterler ve Kayseri – havasız çürütme sistemi yatırım maliyeti ile ilk yatırım maliyetinin bileşenleri Tablo 4.5 ve 4.6’ da özetlenmiştir.

Tablo 4.5. Havasız çürütme sistemi ilk yatırım gideri – örnek çalışmalar

Tanım/örnek	*Yatırım gideri/referans
1 MW havasız çürütücü, Walford	<i>ilk yatırım gideri=6.3 MUSD, (Walford/İngiltere, 2000)</i>
0.04 MW havasız çürütücü, Craven/USA	<i>ilk yatırım gideri=0.32 MUSD, (Craven/USA, 1999)</i>
0.16MW havasız çürütücü, Kemer/Antalya	<i>ilk yatırım gideri=0.8 MUSD, (Kemer/Antalya öngörülen bedel 2001)</i>

* MUSD= milyon Amerikan Doları

Tablo 4.6. Kayseri havasız çürütme sistemi yatırım bilgileri ve arazi kullanımı

Parametre/açıklama	Bedel (MUSD)*
<i>proje geliştirme giderleri</i>	0.450
avan ve tatbikat projeleri	0.275
teknik ve idari danışmanlık ücretleri	0.050
finans geliştirme faaliyetleri	0.025
elektrik satış bağlantıları	0.050
lisans giderleri	0.050
<i>inşaat işleri</i>	2.250
betonarme inşaat+hafriyat ve zemin hazırlama	0.850
çelik imalat	1.400
<i>ekipman temini +montaj</i>	3.100
<i>borulama işleri</i>	0.900
<i>işletmeye alma faaliyetleri+testler</i>	0.200
<i>eğitim giderleri</i>	0.150
1.4 MW havasız çürütücü, ilk yatırım toplam maliyeti	7.050 MUSD (2001 yılı)
Havasız çürütme sistemi arazi gereksinimi**: 3.7 ha (185.0x200.0 m)	

* MUSD= milyon Amerikan Doları

** maliyet hesaplarında arazinin bedelsiz sağlanacağı varsayılmıştır

İşletme giderleri ve gelirler

Bir havasız çürütme sisteminin işletme giderleri tesis kapasitesine, tasarım kriterlerine ve yerel koşullara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. İşletme giderleri genel olarak aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır.

- Personel giderleri
- Sigorta
- Taşıma giderleri
- Çevre kirliliği önleme konusundaki harcamalar
- Diğer giderler ve bakım masrafları

Çürütme sisteminin işletme sürecindeki en önemli gelir kaynakları ise üretilen enerji ve gübrenin satışından beklenen gelirdir. Ayrıca, prosesten oluşan sıvı atık tarım alanlarına püskürtmek yoluyla gübre olarak kullanılabilir. Bu proje kapsamında sıvı atığın Kayseri’de kurulması planlanan, projelendirme çalışmaları sürdürülen merkezi evsel atıksu arıtma sistemine deşarj edilmesi varsayılmıştır. Atıksu arıtma gideri işletme giderlerine eklenmiştir.

Maliyet analizi *düzleştirilmiş yaşam çemberi (levelized life-cycle cost)* yöntemi yaklaşımı çerçevesinde yapılmıştır. Bu yöntemde tüm değerler projenin yapıldığı yıl olan 2001 yılına göre düzeltilmiştir. Düzeltme faktörü olarak yıl bazında giderlerin USD olarak fazla değişim göstermeyeceği kabul edilmiştir. Bu durumda hesaplar yıl bazında %3 ve %5 olmak üzere iki

değişik düzeltme faktörü kullanılarak yapılmıştır. Tesise ait işletme giderleri ile öngörülen gelirler 2001 yılı baz alınarak USD cinsinden hesaplanmış ve Tablo 4.7’de özetlenmiştir.

Tablo 4.7. Kayseri havasız çürütme sistemi için öngörülen işletme giderleri ve gelirler

İşletme giderleri, USD/yıl	Gelirler, USD, yıl
personel $10 \text{ kişi} \times 900 \text{ USD/ay} \times 12 \text{ ay} = 108\,000.- \text{ USD/yıl}$	elektrik 975 kW net üretim, 7.5 cent/kWh elektrik satış bedeli ve günde 20 saat üretim varsayımları ile, $7.5 \text{ cent/kWh} \times 975 \text{ kW} \times 20 \text{ h} = 1462.5 \text{ USD/gün}$ $1462.5 \text{ USD/gün} \times 360 = 526\,500.- \text{ USD/yıl}$
gübre taşıma Bir kamyonun 250/km-gün yol katettiği, 10t taşıdığı, ortalama taşıma mesafesinin 20 km olduğu varsayılarak, 540 t gübre için $540 \text{ USD/gün} \times 360 = 194\,400.- \text{ USD/yıl}$	sıcak su 1000 kW net üretim, 3.75 cent /kWh satış bedeli ve günde 20 saat üretim varsayımları ile, $3.75 \text{ cent/kWh} \times 1000 \text{ kW} \times 20 \text{ h} = 750.0 \text{ USD/gün}$ $750.0 \text{ USD/gün} \times 360 = 270\,000.- \text{ USD/yıl}$
su+kimyasal sarfıyatı $350 \text{ m}^3/\text{gün} \times 0.25 \text{ USD/m}^3 = 87.5 \text{ USD/gün su}$ +17.5 USD/gün kimyasal $105 \text{ USD/gün} \times 360 = 37\,800.- \text{ USD/yıl}$	gübre (toprak şartlandırıcısı) 455 ton/gün üretim için, 1 cent/kg satış bedeli ve yıllık üretimin %75’inin satılması varsayımları ile, $1 \text{ cent/kg} \times 455\,000 \text{ kg/gün} \times 360 \times 0.75 = 1\,228\,500 \text{ USD/yıl}$
faizler yatırım bedelinin yıllık %5 faizli kredi ile alındığı varsayılarak 352 500.-USD/yıl (1. yıl için)	
sigorta tahmini 50 000.- USD/yıl	
çevre kirliliği ölçümleri/lisanslar tahmini 25 000.-USD/yıl	
yıllık bakım onarım giderleri tahmini 50 000.-USD/yıl	
atıksu arıtma giderleri tahmini 27 600.- USD/yıl	
845 300.-USD/yıl	2 025 000.-USD/yıl
gübre üretim maliyeti: 5.2 USD/ton , 0.52 cent/kg	

Kayseri hayvan atıkları havasız çürütme sistemi için öngörülen ilk yatırım maliyeti, faiz oranı ve düzeltme faktörleri kullanılarak işletme sürecinde yapılan maliyet analizi sonuçları ise Tablo 4.8’de verilmiştir. Artan giderlerin karşılanmasında kullanılan düzeltme faktörünün yıllık olarak %3 olarak kabul edilmesi durumunda tesisin işletmeye açılmasını takiben yaklaşık 6 yıl içinde ilk yatırım gideri olan 7.050 MUSD’nin karşılandığı ve karlı konuma geçtiği görülmektedir. Craven (1999) havasız çürütme sistemi örnek çalışmasında tüm ilk yatırım giderinin karşılandığı periyod 7.8 yıl olarak hesaplanmıştır. Kayseri pilot tesisi için bulunan 6 yıl geri dönüş süresi ABD’deki benzer yaklaşıma göre bir miktar daha düşüktür. Bu durum, Türkiye koşulları çerçevesinde hesaplanan işletme giderlerindeki düşüklükten kaynaklanmaktadır. Ancak her iki durumda bulunan sonuçlar birbirleri ile uyum içindedir. Hesaplamalarda, özellikle konservatif bir yaklaşım sergilenmiştir. Örneğin tesisten kaynaklanan sıvı atık (likör) için herhangi bir gübre değeri alınmamıştır. Uygun koşulların sağlanması durumunda Kayseri havasız çürütme sisteminden daha fazla karlılık beklenebilir.

Tablo 4.8 Kayseri havasız çürütme sistemi işletme periyodu için gelir analizi

Yıllar	işletme gideri+faiz*, X1000 USD/yıl	net gelir, x1000 USD/yıl	net gelir, %3 düzeltme faktörü, x1000 USD/yıl	kümülatif gelir, %3 düzeltme faktörü x1000 USD/yıl	net gelir, %5 düzeltme faktörü, x1000 USD/yıl	kümülatif gelir, %5 düzeltme faktörü x1000 USD/yıl
1	845.3	1179.7	1144.309	1144.309	1120.715	1120.715
2	786.315	1238.685	1164.364	2308.673	1114.817	2235.532
3	724.3808	1300.619	1183.564	3492.236	1105.526	3341.058
4	659.3498	1365.65	1201.772	4694.009	1092.52	4433.578
5	591.0673	1433.933	1218.843	5912.851	1075.45	5509.028
6	519.3706	1505.629	1234.616	7147.467	1053.941	6562.968
7	492.8	1532.2	1210.438	8357.905	995.93	7558.898
8	492.8	1532.2	1164.472	9522.377	919.32	8478.218

* %5 yıllık faiz oranı varsayılmıştır, net gelir ödendikten sonra faiz uygulaması yapılmıştır.

4.1.5 Kayseri havasız çürütme sistemi çamur kekinin arazide depolama yöntemi ile bertarafı seçeneği

Havasız çürütme sisteminden çıkan çürütülmüş çamur gübre/toprak şartlandırıcı olarak kullanılabilir niteliktedir. Bölgede mevcut durumda hayvan atıkları gübre olarak kullanılmaktadır. Gübre miktarının yetersiz kaldığı ve daha fazla gübreye gereksinim duyulduğu bölgedeki üretici çiftliklerdeki yetkililer tarafından ifade edilmiştir. Gerçekte havasız çürütme sisteminden kaynaklanacak çamur kekinin satılamaması ve arazide depolama yoluyla bertarafı öngörülmemiştir. Ancak proje kapsamında geliştirilen senaryonun bir bölümü olarak çamur kekinin arazide bertaraf alternatifi incelenmiştir.

Tesisten yaklaşık 455 t/gün %20 KM içeren çamur kaynaklanacağı hesaplanmıştır. *Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği* gereği depolanacak atıkların su oranı %65 olmalıdır. Bazı durumlarda su içeriği %75'e kadar olan çamurlara depo alanlarında izin verilmektedir. Bu durumun sağlanması için filtre-pres veya santrifüj filtre tipinde susuzlaştırma sistemlerinin kullanılması gereklidir. Belt filtreler ile kekte su oranı kriteri sağlanamamaktadır. Bu durumda susuzlaştırma işleminin fitre presler ile yapıldığı varsayılararak arazide depolama uygulaması için alan hacim gereksinimi ile işletme giderleri Tablo 4.9'da özetlenmiştir.

Sonuç olarak yüksek işletme gideri, gübre veya toprak şartlandırıcısı değeri olan bir atığın değerlendirilememesi, arazi ihtiyacı, diğer çevre sağlığı problemlerine neden olma riskleri dikkate alındığında hayvan atıkları için arazide depolama yoluyla bertaraf yöntemi uygun görülmemektedir.

Tablo 4.9. Kayseri havasız çürütme sistemi çamur keki arazide depolama yöntemi analizi

Parametre	açıklama
Depolanacak çamur miktarı	250 ton/gün KM: 85 ton/gün, su içeriği~%65
Depo alanı gereksinimi	150 m ² /gün (yaklaşık 1.5 m yığma yüksekliğinde) 4500 m ² /ay 18000 m ² /yıl (yılda toplam 3 katlı depolama yapıldığı varsayılarak)
Depolama hacmi gereksinimi	90 000 m ³ /yıl
İşletme giderleri	90 000.- USD/yıl (taşıma gideri, 1USD/ m ³) 90 000.- USD/yıl (toprak işleri gideri gideri, 1USD/ m ³) 120 000.- USD/yıl (geçirimsizlik, havalandırma bacaları ve drenaj masrafları, tahmini)
Toplam işletme gideri	300 000.- USD/yıl

4.1.6 Havasız çürütme kuruluş- işletme aşaması teknik ve hijyenik uygulama örnekleri

Havasız çürütme prosesi için gerekli olan atıklar çok çeşitlidir. Bu atıklar çiftlik ve gıda endüstrisinden kaynaklanmaktadır. Atıklar yeterli olmadığı takdirde sistemin çalışabilmesi için diğer atıklar da kullanılabilir. Bunlar tekstil, kağıt, balıkçılık endüstrisinden kaynaklanan çeşitli atıklardır. . Ana nokta girdilerdeki toksik madde içeriğinin prosese zara verdiğiinden dolayı minimize edilmesidir. . Kullanılması sakıncalı maddeler arasında; yüksek amonyaklı atıklar, pestisit atıkları, ağır metaller, antibiyotikler, dezenfektanlar sayılabilir.

Havasız çürütme sistemindeki ana amaç çıktı ürünlerin kalite ve miktarlarını olabildiğince arttırmaktır ki bu sonuç olarak ekonomik ve çevresel perfomansı da yükseltecektir. Gaz ürünlerin arttırılması için 5-12.5% KM içeren ve organik içeriği optimum olan atıklar kullanılmalıdır.

Havasız çürütme prosesi için aşağıdaki kriterler **hammadde girdisinde** göz önüne alınır:

- Ürün olarak biogaz, gübre veya likit atık ürünlerinden hangisine öncelik verilirse verilsin diğerleri de etkilenecektir. Tüm ürünlerin denge içinde üretilmesi gerekmektedir ki yeterli gelir elde edilsin.
- Atık üretiminin mevsimsel dağılımı göz önüne alınıp atık çeşitlerine göre depolama yapılabilir. Tesis beslenmediği zaman yavaş yavaş iptal edilme durumuna geçeceği kesindir. Bu yüzden çok dikkat edilmelidir.
- Değişik atıklar değişik yükleme sistemi gerektirecektir. Örneğin bazı atıklar uzun lif, briket içerebileceğinden elek gerekebilir.

- Atığın çeşidine göre su eklenebilir veya alınabilir. Doğal olarak su eklenmesi proses için daha fazla enerji ihtiyacını doğuracaktır. Ancak atık beslemesinde homojenliği sağlamak için başta biraz su eklenmesi gerekebilir.
- Atığın karıştırılması

Atığın taze olması gaz veriminin yüksek olması açısından çok önemlidir. Buna ek olarak atık depoda beklediği sürece asitlik derecesi artacağından proses esnasında sistemdeki bakterilerin yok olmasına neden olacaktır. pH değerinin genel olarak 6.8-8 arasında olması istenir.

Üretim prosesinin kalite kontrole ihtiyacı vardır. Atıkların kontamine olması sistemi olumsuz yönde etkileyecektir. Büyük havasız çürütme sistemleri için öncelikle laboratuvar ölçekli sistemlerin kurulup girdilerin burada değerlendirilmesi gerekebilir. Sistemin belli zamanlarda kalite ve güvenlik açısından kontrol edilmesi gerekmektedir ve Atık Yönetimi ile ilgili merkezlere kayıtlı olması gerekmektedir. Kayıt yapıldığı sırada beslenecek hammaddeler belirtileceği için hammadde değişikliği yapılması gerektiğinde yeni kayıt yapılmalıdır.

Beslenen atıklar bitki ve hayvan patojenleri ve parazitler içerdiğinden insan ve hayvan sağlığı açısından tehlike yaratabilir. Pasterizasyon işlemi sırasında patojenler tamamı ile yok edilir ancak buda sisteme ek bir enerji maliyeti getirecektir. Bu konu ile ilgili proses için detaylı inceleme yapılmalıdır.

Sistem besleme açısından devamlı atık bulunması gerekmektedir. Bu nedenle **atık depolama** kriterlerinin çok dikkatli seçilip depolama işleminin standartlara uygun yapılması gerekmektedir. Depolanacak atıklar için ideal durum çürütme reaktörüne yakın bir şekilde depolanmasıdır. Bu durumun mevcut olması çoğu zaman imkansızdır. Çevre sağlığına uygun yönetmelik ve standartların göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Depolama tankında metan üretimi devam edecektir. Kullanılacak gazın %15 i stoktan elde edilebilir. Bu nedenle depolama tanklarındaki gaz toplanıp yakma prosesleri için gerekli enerji ihtiyacında kullanılabilir.

Atıkların taşınması konusunda da çevresel ve ekonomik etkiler incelenmelidir. Ayrıca trafiği ters yönde etkileyecek durumlardan kaçınılmalıdır. Bu nedenle atık depolama tanklarının yerleri çok dikkatli seçilmelidir. Depolama tankı, çürütme reaktörü, atık üretim merkezleri arasındaki mesafelerin optimum şekilde ayarlanması gerekmektedir. Tesis olarak organize sanayi bölgeleri veya endüstriyel üretim yapan merkezlerin seçilmesi hem atık toplama açısından hem de yerleşim merkezlerinden uzak olma açısından avantaj sağlayacaktır. Atık taşıma yolları uygun olmadığı takdirde tesis sahibi/sorumlusundan yolların düzeltilmesi, uygun şekilde inşaatı beklenir. Taşıma vasıtaları açısından incelenirse; tavuk atıkları için tepeden açılıp kapanan kamyonlar tercih edilir. Atıkların su içeriğine göre 20-40 km arasındaki mesafelere kamyonlarla taşınabilir. Taşıma işlemi biyolojik atıklar kapsamında çok önemlidir. Sistemin ekonomik yönden başarılı veya başarısız olmasında çok fazla rolü vardır.

Atıkların **taşınması/depolanması** sırasında genel olarak ele alınması gereken hususlar :

- Patojenik mikro-organizmalar
- Parazitler
- Gazın alev alması/patlamaıdır.

Tesisten çıkan ürünlerin kullanım yerlerine -özellikle biyogazdan elektrik olarak kullanım durumu mevcutsa- yakın olması gerekir. Uygun bir yerin seçimi ekonomik açıdan çok fazla avantaj getirebilir. Tesis **ulaşım ve atıksu** problemlerine çözüm bulunmasından başka ayrıca aşağıdaki sorunlar da çözümleri ile birlikte ele alınmalıdır:

- **Koku problemi** konusunda özellikle atıkların depolandığı kısımda özel havalandırma tesislerinin mevcut olması gerekir
- **Gürültü kirliliği** konularında standartlara uyulmalıdır. Makine ve pompalardan meydana gelecek gürültü önceden tespit edilmelidir.
- **Görüntü kirliliği** konusunda çürütme tankı sıvı ürün ve gübre üretimi sistemlerinden biraz uzakta kurulmalıdır.
- Belirtilen kriterleri karşılayabilecek ve sorunların çözülebileceği büyüklükte bir alana ihtiyaç vardır.
- **Yer seçimi** sırasında ekolojik etkiler incelenmelidir. Çevredeki flora/fauna hayatını olumsuz etkilememelidir. Su kaynakları ile olan ilişki saptanmalıdır.
- Tesiste otomasyona büyük önem verilmelidir.
- Tesisin risk değerlendirmesi raporunun olması gerekir.
- Tesisin işçi sağlığı ve güvenliği açısından tatmin edici olması/standartlara uyması gerekir.

Genel bir özetle ABD de Biyogaz üretimine yönelik uygulanan **“pratik verimli çözümler”** kapsamında havasız çürütme tesisindeki ana noktalar şöyle sıralanabilir:

- Tesiste uygun atık kabul etme ve boşaltma sisteminin kurulması
- Çürütme tankının boyutlarının sıcaklığının ayarlanması
- Karıştırma cihazlarının temini
- Gaz tutucu
- Gaz sistemi (pompa, valf, baca vs)
- Elektrik üretim sistemi
- Çürütme tankı için ısı sağlayacak kazanlar
- Condensat suyunun boşaltılması için uygun su sistemi
- Sıvı ve lif ürünleri için sistemin mevcut olması
- Kontrol ve izleme sisteminin kurulması
- Atık girdisinin kompozisyonunun bilinmesi
- Çürütme sisteminin verimli çalışması ile ilgili (sıcaklık, karıştırma, yükleme, boşaltma, jeneratör) tüm şartların sağlanması
- Çürütme sistemini kontrol edilmesi çok detaylı bir şekilde sağlanmalı ve sistemin acil durumlarda kapatılıp açılması ve Çevresel Risk Değerlendirmesi açısından gerekli tüm işlemlerin yapılaması ve dökümantasyonun sağlanması
- Dökümantasyon sadece Çevresel Risk Değerlendirmesi değil aynı zamanda Çevre Yönetim Sistemleri kapsamında da ele alınmalıdır.
- Uygun verimli teknolojilerin tespiti

En önemli konulardan biri tesiste çalışan personelin hem sorumlu oldukları sistemler hem dökümantasyon hem de işçi sağlığı ve güvenliği açısından eğitime tabi tutulmaları gerekmektedir.

Havasız çürütme prosesi kapsamında **proje geliştirilirken ekonomik açıdan** göz önünde tutulması gereken önemli noktalar aşağıda özetlenebilir:

- Havasız çürütme reaktörünün yatırım maliyeti
- Çalışma masrafları
- İlgili yönetmeliklerin ve gerekli iznin alınması
- Sistem kullanıcıların eğitimini

Tüm bu maliyetlerin hesabından sonra da proje sahipleri aşağıdaki **soruları** net bir şekilde projeye başlamadan önce cevaplamalıdır.

- Projelerden elde edilebilecek diğer verimlerin yatırım maliyetini arttırıp maliyeti yükseltip yükseltmeyeceği
- Zamanlama açısından da projenin ekonomik açıdan verimliliği tatmin edici olup olmadığı
- Sistemin atık üreten tesislerde kurulduğu taktirde ekonomik açıdan daha uygun olup olmayacağının değerlendirilmesi
- Çürütme sisteminin ekonomik olması için atık beslenecek atık miktarının saptanması
- Sıvı ürünün optimum miktarda üretilmesi ve bunun için gerekli alan büyüklüğü
- Bu tesisten elde edilecek enerjiyi tesis içinde kullanılıp kullanılmayacağı. Ayrıca atık üretim alanında bu tesis kurulduğu taktirde gene elde edilen enerjinin orada kullanılıp kullanılmayacağı değerlendirilmelidir.
- Enerji satıldığı taktirde elde edilecek gelir incelenmelidir.
- Tüm tesisin geri dönüşüm maliyeti, zamanı o tesis için detaylı olarak belirtilmelidir.

Girdi malzemesi olarak kullanılan çeşitli atıklarda aşağıdaki hususlar göz önünde tutulmalıdır:

- Patojenik mikro-organizmalar
- Parazitler
- Gaz patlamalar ve tutuşma
- Sisteme bilinmeyen girdilerin olması

Bu gibi olası **tehlikelerin önlenmesi** ancak aşağıdaki önlemler alınarak sağlanabilir:

- Güvenilir ve özellikleri bilinen atık girdisi yaparak
- Girdilerdeki kalite kontrol ve analiz işlemlerinin tam yapılması ile
- Hayvanların neden olduğu ve atık içerisinde oluşan hastalıkların önlenmesi ve izlenmesinin gerçekleştirilmesi ile
- Çalışanlarda hijyene çok fazla önem verilmesi gerekir. Çalışanların giysileri ve arabalarına itina gösterilmelidir. Çalışanlar giysilerini tesiste bırakmalıdırlar.
- Araçların ve taşıma kamyonlarının yıkanmasına çok dikkat edilmelidir. Temizlik suyunun uzaklaştırılması konusunda gene kontamine atık muamelesi yapılmalıdır.

İnşaat sırasında;

- Elektrik bağlantısı işleminde tesisin gerekli elektriği sağlayıp sağlamama durumuna göre elektrik bağlantısı yapılmalı veya yapılmamalıdır.
- Tüm ekipman konusunda çalışanların yüksek seviyede eğitim almış olması gerekir. Eğitim sırasında işçi sağlığı ve güvenliği konusunda yeterli eğitimin sağlanması gerekir.

Eğitim kapsamında olası problemler/tehlikeler ve alınacak önlemler, uygun çözümler ele alınmalıdır. Bunu için danışmanlık hizmeti alınabilir.

- Havasız çürütme projeleri belli zaman aralıklarında muhakkak izlenmelidir. Buradaki amaç:
 1. Tesisin ekonomik ve çevresel performansının optimize edilmesi,
 2. Atık girdilerinin ve çıkan ürünlerin kalite değerlendirmesi açısından ele alınması,
 3. Üretim kayıtların kontrol edilerek proses sırasında gelişen tüm olayların detaylı irdelenerek ele alınması,
 4. Emisyonların kontrol edilmesi ve izlenmesi. Bununla emisyon üst değerlerinin limitlerin altında olduğunun ispatlanması,
 5. Bölgedeki oturan kişilerin problemlerini/şikayetlerini ve yorumlarını dinlenmesi ve dikkate alınması,
 6. Planlanmış aksiyon planın zamanına uygun olarak gerçekleştirilmesinin sağlanmasıdır.

İşletme sırasında riskin azaltılması için öncelikle operasyon yönetimi ile ürünlerin, enerji üretiminin dengeli ve uyumlu olması gerekmektedir. Bu nedenle

- Emisyonlar (hava)
- Emisyonlar (toprak, su)
- Taşınım ve trafik kapsamında
 1. ***Çevresel etkiler*** göz önüne alınmalıdır. Oluşan metanın sera etkisi olmasından dolayı tesisten dışarıya sızması sırasında birçok olumsuz etkiye neden olacaktır. Ayrıca CO, NO gazlarının ve gene uçucu organik bileşikler uygun olmayan biogaz yakma şartlarında kabul edilen değerlerin üzerinde olmaktadır. Böyle durumların meydana gelmemesi için “uygun teknolojilerin” seçilmesi gerekmektedir.
 2. ***Sağlık ve güvenlik*** açısından ele alındığında biogaz üretiminden metan, CO₂, eser miktarda amonyak ve hidrojen sülfür meydana gelmektedir. Amonyak ve hidrojen sülfür depolanan atıklardan ve karışma sırasında oluşan gazlar da bulunmaktadır. Bu gazlara maruz kalınması hastalıklara ve hatta miktarına bağlı olarak ölümlere neden olabilir. CO₂, amonyak ve hidrojen sülfür toksik gazlardır. Uygun ve etkili yönetim ile bu gazların oluşumunun önlenmesi gerekmektedir.
 3. ***Sağlık ve güvenlik*** açısından çalışanların bu gazlara maruz kalmaları engellenmelidir. Bu konu ile ilgili prosedürler detaylı bir şekilde uygulanmalıdır.
 4. Aynı zamanda su ve toprak ortamına ***emisyonlar*** da ele alınmalıdır. Yeterli olmayan depolama koşulları, etrafa atıkların yayılması/dökülmesi, kazalar bu çeşit emisyonlara neden olmaktadır.

4.2. Çorum Pilot Bölgesi – Kompost Tesisi

4.2.1. Katı atıkların özellikleri ve 2020 yılı için değerlendirme

Çorum ilinden data toplama ve gübre karakterizasyonu çalışmalarının yapıldığı dönemde yaklaşık 2,000,000 tavuktan 240 ton/gün tavuk katı atığı kaynaklandığı belirlenmiştir. Ancak, ekonomik koşullardaki olumsuzluklar sebebiyle söz konusu dönemde üretimde düşüş yaşandığı belirtilmiştir. Normal üretim koşullarında ise 2020 yılı için yaklaşık 3,000,000 tavuktan 400 ton/gün katı atık kaynaklanacağı öngörülmüştür. Çorum ilinden kaynaklanan katı atıkların özellikleri (kompozit) Tablo 4.10'da verilmektedir. Kompozit tavuk atığı örneğinin karakterizasyonunun hesaplanmasında Çorumdaki kaynaklanan tüm atığın %80'ninin tek katlı kümeslerden, %20'sinin ise çift katlı kümeslerden kaynaklandığı kabul edilmiştir.

Kompozit tavuk katı örneğinin içerdiği toplam katı madde miktarı % 38.8, C/N oranı ise 9.9 olarak hesaplanmıştır. Kompostlama prosesi için optimum nem oranı %50-60, en uygun C/N oranı ise 25-30 olarak verilmektedir (Topkaya, 2001). Bu durumda kompostlama için özellikle C/N oranının sağlanmadığı ve nem oranının ise bir miktar fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca, kurulması planlanan kompost tesisine gelecek atığın her zaman kompozit özellikte olmayacağı, çiftliklerin konumu ve atıkların uzaklaştırıldığı zamana bağlı olarak çoğu zaman tek katlı kümeslerden kaynaklanan tavuk atığının özelliklerini taşıyan atık geleceği düşünülmüştür. Bu durumda atığın içerdiği katı madde oranının iyi bir kompost elde edebilmek ve üretim sürecinde problem yaşanmaması için yaklaşık %25'den % 40-50 değerlerine çıkarılması gerekmektedir. Kurutma işlemi ısı (sıcak hava) veya mekanik susuzlaştırıcılar tarafından yapılabilir. Ancak, bu durumda Çorum için yapılan bir çalışmada ısı ile kurutma işleminde kurutucu gücü yaklaşık 870 kW olarak hesaplanmıştır. 10 t/saat kapasiteli, spiral mekanik kurutucunun gücü ise yaklaşık 5 kW mertebesinde. Ancak bu tür kurutucular tavuk atıkları için henüz denenmemiş olup yaygın kullanımı bulunmamaktadır.

Atığın susuzlaştırılması ve aynı zamanda C/N oranının artırılmasında uygulanan en yaygın yöntem karbon içeriği yüksek bir başka atıkla karıştırılmasıdır. Tavuk gübresi genelde, düşük poroziteli ve yapışkan bir yapıya sahiptir. Bu durumda kompostlama prosesi için gereksinim

duyulan oksijen mikroorganizmalar tarafından kolay kullanılamaz. Başka atıkla karıştırma, tavuk gübresinin porozitesini arttırdığı, kompostlama prosesi sırasında hava geçişini kolaylaştırdığı için ayrıca avantajlı olmaktadır. Partikül büyüklüğü de kompostlamada önemli rol oynamaktadır. Aynı miktarda karbon içeren ağaç parçacıkları ile tahta talaşı karşılaştırıldığında daha yüksek yüzey alanına sahip olan talaşın içerdiği karbonun mikroorganizmalar tarafından kullanımı çok daha kolay olmaktadır. Kompostlama prosesinde kullanılabilecek bazı atıkların C/N oranları, karbon ve azot açısından değerlendirilmeleri Tablo 4.11'de verilmiştir.

Her ne kadar C/N oranının başlangıçta dengeli olarak ayarlanması kompost prosesinin planlanmasında yardımcı olursa da, söz konusu materyalin biyolojik indirgenebilirlik derecesine göre bu oranda düzeltme yapılması gereklidir. Kompostlanabilir maddeler içinde bulunan azotun büyük bir kısmı biyolojik olarak kullanılabilir şekilde iken, karbonun bir kısmı biyolojik parçalanmaya dirençli olan bileşikler bağlı olabilir. Gazete kağıtları buna örnektir. Diğer tür kağıtlara karşın gazete kağıdının ham maddesi olan selüloz fiberleri lignin ile kaplıdır. Lignin, bilindiği gibi ağaç dokusu içinde bulunan çok dirençli bir maddedir. Selülozun yine dirençli bir formundan oluşan mısır koçanları ve saman da çok yavaş parçalanır. Bu maddelerin kompostlanabilir olmalarına rağmen, parçalanmanın çok yavaş cereyan etmesi, içerdikleri karbonun tamamının mikroorganizmalar tarafından kullanılmasının mümkün olmadığını göstermektedir. Bu durumda kompost tesisi işletme koşullarında proses yönetiminde, daha yüksek bir C/N oranı planlanmalıdır.

Yukarıda verilen kriterler çerçevesinde Çorum'da kurulması öngörülen tavuk atıkları kompost tesisinde tavuk atıklarına bölgesel koşullar, mevsim, diğer mevcut katı atık cins ve miktarları dikkate alınarak karbon içeriği yüksek atık maddelerin proses öncesinde eklenmesi en uygun çözümdür.

Tablo 4.10. Çorum Bölgesi hayvan katı atıkları özellikleri (2020 yılı)

gübre/parametre	Toplam katı madde, %	*Uçucu madde, %	*sabit karbon, %	*fosfat, P, g/kg	*Toplam karbon, %	karbon/azot (C/N)	Isıl değer, kJ/kg	Katı atık miktarı, t/gün
Yumurta tavukçuluğu								
1 katlı kümes	25.6	60.9	7.9	16.7	36.2	10.2	14108	320
2 katlı kümes	91.9	39.4	2.8	21.9	32.4	8.7	10543	80
Σ kompozit	38.8	56.6	6.9	17.7	35.4	9.9	13395	400

*kurutulmuş örnek analiz sonuçlarıdır

Tablo 4.11. Kompost prosesinde kullanılan bazı atıkların C/N oranları (Topkaya, 2001)

Atık cinsi	C/N
karbon içeriği yüksek maddeler	
Yaprak	30-80:1
Saman	40-100:1
Ağaç kırıntısı, talaş	100-500:1
Ağaç kabuğu	100-130:1
Karışık kağıt	150-200:1
Gazete kağıdı veya karton	560:1
azot içeriği yüksek maddeler	
Sebze atıkları	15-20:1
Kesilmiş çim	15-25:1
Hayvan dışkısı	5-24:1

4.2.2. Kompost prosesi tasarımı

Çorum'dan kaynaklanan hayvan katı atıkları için ortalama C/N=10 kabul edilmiştir. Tavuk gübresinin büyük ölçüde tek katlı kümeslerden kaynaklandığı varsayımıyla kompozit atık koşulları her zaman sağlanamayacaktır. Bu durumda genel atık karakterizasyonu açısından tasarımda KM = %25 ve C/N=10 olarak kabul edilmiştir.

Bu durumda 400 ton/gün tavuk atığının katı madde oranını ideal kompost koşullarına (%50 KM) getirmek için eklenmesi gerekli yaklaşık %90 KM içeriğine sahip yaprak, saman, ağaç parçaları vb organik atıkların miktarı yaklaşık 250 ton/gün olmaktadır. Tavuk atıklarına ayrıca kullanılmayan yumurta atıkları veya üretim sırasında ölen civcivler (parçalanmış halde) de eklenebilir. Bunların tümü kompost üretimde kullanılabilir. Gübre-diğer organik atıklar karışımında C/N=30 değerini sağlamak için ise eklenecek olan 250 t/gün atık için yaklaşık C/N=65 olacak şekilde ayarlanmalıdır. Kompost üretim tesisine kompozit özellikleri sağlayacak nitelikte tavuk atığı gelmesi halinde ise tavuk atığına eklenecek yine %90 KM içeriğine sahip diğer organik atıkların miktarı 50 ton/gün olmaktadır. Bu durumda dışarıdan verilecek 50 t/gün atık için karışımında yaklaşık C/N=190 olacak şekilde ayarlama ve seçim yapılmalıdır. Genel olarak işletme koşullarında yüksek porozite sağlayarak kompostlaşma prosesinin daha uygun koşullarda sürdürülmesi açısından yüksek miktarda dışarıdan organik atık eklenmesinde yarar vardır.

Değişik işletme koşullarında tek katlı kümes ve kompozit tavuk atıkları için eklenmesi gerekli organik katı atık miktarları ve C/N oranları Tablo 12'de verilmiştir. Tek katlı kümes

gübreleri için dışarıdan eklenecek olan organik atık karışımının C/N=60-70 arasında değişmektedir. Bu durumda gübre ve eklenen atık karışımı için C/N=30-31, KM=%47-51 olup kompostlama prosesi için optimum koşullar sağlanmaktadır. Çorum için kurulması planlanan kompost tesisi Tablo'da verilen kriterleri sağlayacak şekilde işletilmelidir. Atık karakterinde olası değişiklikler için önceden bu yaklaşım ile hesaplama yapılarak optimum koşulların sürdürülmesi sağlanabilir.

Tablo 4.12. Çorum hayvan atıkları kompost tesisi işletilmesinde katı atık – eklenecek atık KM ve C/N oranları

Tesise gelen atık	miktar, t/gün KM, %, C/N	eklenecek organik atık miktarı, t/gün	eklenecek organik atık C/N	karışım KM, %	karışım C/N
<i>tek katlı kümes gübreleri</i>	400 t/gün KM=%25 C/N=10	250 200 265	65 70 60	%50 %47 %51	31 30 30
<i>kompozit gübre (tek+çift katlı kümes)</i>	400 t/gün KM=%38 C/N=10	50	190	%50	30

Kompost üretimi için özellikle Avrupa ülkelerinde biyolojik süreç sırasındaki gerekli sıcaklıklar ve bu sıcaklıkta hijyen koşulların sağlanması için öngörülen bekletme süreleri Tablo 4.13'de verilmiştir (Topkaya, 2001). Kompostlaşma prosesi için ABD standardı ise 55°C sıcaklıkta 72 saat olarak verilmiştir (EPA).

Tablo 4.13. Bazı ülkeler için kullanılabilecek kompostların biyolojik işlem sırasında hijyenleşme için gerekli sıcaklıkta bekleme süreleri

Ülkeler / standart	hijyenleşme sıcaklığı, °C	hijyenleşme sıcaklığında bekleme süresi, gün
Belçika	60	4
Danimarka	55	14
İtalya	55	3
Hollanda	55	4
Avusturya	65	6
Küba	55	3
Kore	55	3
İngiltere	55	3
İspanya	55	3

Çorum kompost tesisi tasarımı işlenmesi gerekli hayvan atığı miktarı açısından daha olumsuz koşullara sahip seçenek olan tesise yoğun şekilde tek katlı kümes atıkları verilmesi koşulları için yapılmıştır. Bu durumda kompozit atık veya kriterler çerçevesinde daha başka organik içerikli katı atık verilmesi halinde de tesis hijyenik kompost üretme işlevini sürdürecektir.

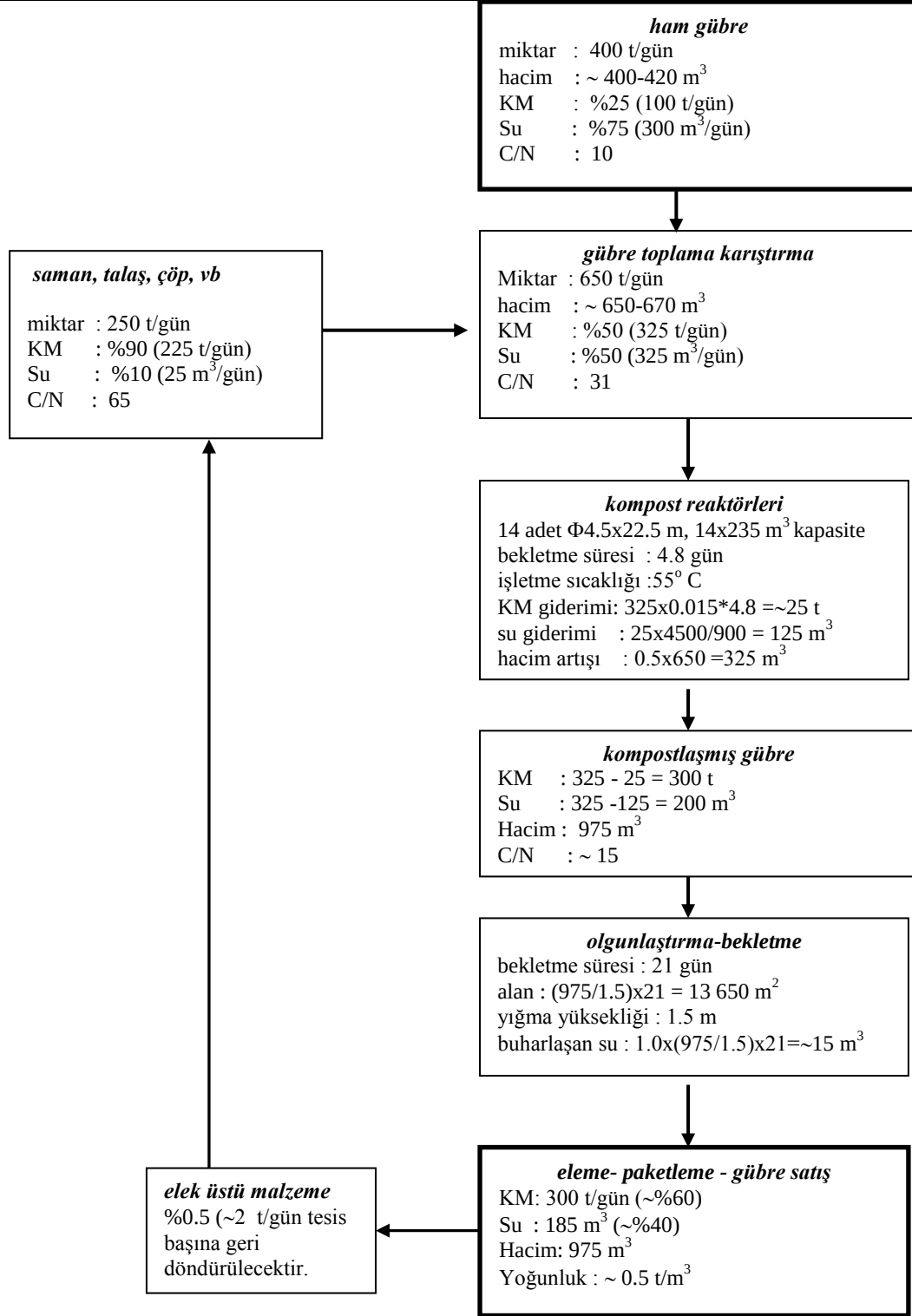
Çorumda kompost tesisi kurulması için öngörülen araziye (hazine arazisi, satın alınmış durumda) en uzak konumdaki 10 çiftlik yaklaşık 25 km mesafede, 50 çiftlik 8-10 km mesafede, kalan çiftlikler ise daha yakın uzaklıklarda kurulu durumdadır. Kompost tesisi

tasarımında kullanılan kriterler ve kabuller Tablo 4.14.'de verilmiştir. Gübre karakteristiği ve kompostlama prosesi kriterleri ile ABD ve Japonya'da uygulanan yöntem ve kabuller kullanılarak gerçekleştirilen proses tasarımı madde dengesi Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Ayrıca, kompost tesisini oluşturan üniteler, boyutlar ve tesiste kullanılması öngörülen ekipman kapasiteleri ve güçleri Tablo 4.15'de verilmiştir.

Tablo 4.14. Çorum pilot bölgesi için kompostlama prosesi tasarım kriterleri

parametre	kabul / kriter / kaynak
Kompostlama için gerekli minimum sıcaklık	55° C
Kompostlama sıcaklığında gübrenin geçirdiği minimum süre	3 gün (Topkaya, 2001; EPA)
Kompostun olgunlaşma süresi	21 gün
Kompostlama reaktörü	döner tambur reaktör
Fermentasyon işlemi ile KM giderme oranı	%1-1.5/gün (ağırlıkça)
Fermentasyon sonucu giderilen (buharlaşan su miktarı)	(giderilen KM)x4500kcal/900kcal
Bekleme sonucu buharlaşan su miktarı	2.5 kg/m ² -gün
Kompostlaşma prosesi sonrası gözenekli yapı oluşumu dolayısıyla hacim artışı	%50



Şekil 4.2. Çorum pilot bölgesi hayvan atıkları kompost sistemi madde dengesi

Tablo 4.15. Çorum pilot bölgesi hayvan gübreleri kompostlama tesisi birimlerinin özellikleri

Birim	Özellik
<i>tanım</i> <i>işlev</i>	<i>ham gübre kabul bunkerı</i> gübrenin ilk boşaltım yeri, gübrenin gübre hazırlama ünitesine aktarılmasının sağlanması
<i>adet</i>	2
<i>malzeme</i>	çelik
<i>kapasite</i>	20 m ³
<i>ekipman</i>	gübre aktarma konveyörü (helezon), 50 t/saat, 2 adet, 3kW
<i>tanım</i> <i>işlev</i>	<i>ham gübre toplama karıştırma tankı</i> gübrenin toplanması, saman, talaş, çöp vb diğer organik atıklar ile karıştırmanın sağlanması, C/N oranının ayarlanması
<i>adet</i>	2
<i>malzeme</i>	betonarme
<i>hacim</i>	2x300 m ³
<i>boyutlar</i>	12.0x12.0x2.5 m (yükseklik), 0.4 m hava payı
<i>ekipman</i>	<i>mekanik karıştırıcı</i> , düşey milli, her tankta 1 adet, 10.0 kW <i>kırıcı (ağaç atıklar için)</i> , 1 adet, 110 kW <i>gübre besleme ana konveyörleri</i> , 2 adet, 2X25.0 t/saat kapasiteli, 2X7.5 kW
<i>tanım</i> <i>işlev</i>	<i>kompostlaştırma reaktörleri (döner tambur tipte)</i> gübre karışımının oksik koşullarda mikroorganizma faaliyeti sonucu kompostlaşmasını sağlamak, 55° C sıcaklıkta patojenlerin ölmesi için gerekli bekleme süresini sağlamak
<i>adet</i>	14
<i>malzeme</i>	çelik, ısı izolasyonlu
<i>hacim</i>	14x358 m ³ , net çalışma kapasitesi = 14x235 m ³ , 4.8 saat bekletme süresi
<i>boyutlar</i>	14 x Ø4.5x22.5 m
<i>dönme hızı</i>	1 dönüş/15 dak.
<i>ekipman</i>	<i>motor-redüktör gurubu</i> , her reaktör için 12.0 kW <i>Her reaktör için besleme konveyörü</i> , 14x4.0 t/saat kapasitede, 14x3.0kW <i>Her reaktör için boşaltma konveyörü</i> , 14x4.0 t/saat kapasitede, 14x3.0kW <i>Fan</i> , 2x160 000 m ³ /saat, 2x80 kW, ΔP=1bar, +1 yedek
<i>tanım</i> <i>işlev</i>	<i>kompost olgunlaştırma – bekletme holü</i> Üretilen kompostu soğutma, bir miktar daha kurutmak ve olgunlaştırmak
<i>adet</i>	Her kompost reaktörü çıkışında 1x14 adet
<i>malzeme</i>	Çelik konstrüksiyon sundurma
<i>boyutlar</i>	14 x (20.0x50.0 m), toplam 14 000 m ²
<i>ekipman</i>	<i>loder</i> , gübrenin hareketini sağlamak veya gerektiğinde havalandırmak için 2 adet <i>konveyör</i> , her holün çıkışında 1 adet, 14x4.0 t/saat kapasitede, 14x3.0kW <i>gübre taşıma ana konveyörleri</i> , 2 adet, 2X25.0 t/saat kapasiteli, 2X7.5 kW

Tablo 4.15. Çorum pilot bölgesi hayvan gübreleri kompostlama tesisi birimlerinin özellikleri (devam)

Birim	Özellik
tanım işlev adet boyutlar malzeme ekipman	gübre ufalama, eleme, paketleme – satış holü üretileen gübrenin satışa hazır hale getirilmesi 1 20.0x30.0 m çelik konstrüksiyon <i>eleme, ufalama ekipmanı</i> , 2 adet , 2x20 t/saat kapasitede, 2x25.0 kW, + 1 yedek <i>paketleyici</i> , 8 adet, 5t/saat kapasitede, 8X1.5 kW, + 2 yedek
tanım işlev adet boyutlar malzeme ekipman	biyofiltre havalandırma sistemi için kullanılan havada koku giderilmesi 2 2x (25.0x80.0 m) betonarme, içi ağaç kabuğu doldurulmuş (başka uygun malzeme de seçilebilir) <i>fan</i> , 3x135 000 m ³ /saat, 3x170 kW, ΔP=3bar, +1 yedek
tanım özellikler	idare binası ve laboratuvar 10.0x30.0 m yerleşim alanı, tek katlı, içinde bir laboratuvar ve bir atelye bulunan, betonarme bina
giriş–çıkış yapısı özellikler	kantar binası 5.0x7.5 m, giriş ve çıkışta kantar

4.2.3. Çorum – hayvan gübreleri kompost tesisi maliyet analizleri

Kompost tesisinin maliyet unsurları proje oluşturma ve geliştirme giderleri, tesisin ilk yatırım maliyeti, eğitim ve işletme giderleridir. Projenin geliri ise üretilen kompostun satışından oluşmaktadır.

İlk yatırım maliyeti

Tesisin ilk yatırım maliyetinin hesaplanmasında uluslararası ve benzer tesislerin maliyet yaklaşımları ile ülkemizdeki bu konuda yapılan çalışmalardan yararlanılmıştır. Bu konuda yapılan çalışmaların sonuçları Tablo 4.16’da özetlenmiştir.

Tablo 4.16. Kompost tesisleri ilk yatırım giderleri – örnek çalışmalar

Tanım/örnek	*Yatırım gideri/referans
~100 t/gün kapasiteli kompost tesisi	ilk yatırım gideri=2.3 MUSD, (Sulphur Spring-Texas, USA, yalnız kompostlama reaktörleri bedeli, 2001)
4.0 t/gün, çorum kompost tesisi teklif bedeli	ilk yatırım gideri=40 000 USD, (Çorum, 1992)
150 t/gün Kemer/Antalya kompost tesisi (evsel atık), Kemer/Antalya	ilk yatırım gideri=4.75 MUSD, (Kemer/Antalya yapım bedeli 1999, ayıklama bölümü dahil)
400 t/gün kapasiteli Çorum kompost tesisi ilk yatırım fizibilitesi (kanal sistemi kompostlama üniteleri)	~ 4.0 MUSD (1998)

* MUSD= milyon Amerikan Doları

Kompost tesisinin ilk yatırım maliyet unsurları, proje geliştirme giderleri, inşaat işleri, ekipman temini-montaj, işletmeye alma ve eğitim giderleri olarak özetlenebilir. Çorum kompost tesisi için hesaplanan ilk yatırım maliyeti ile bu maliyeti oluşturan bileşenler Tablo 4.17' de verilmiştir.

Tablo 4.17. Çorum kompost tesisi ilk yatırım bilgileri ve arazi kullanımı

Parametre/açıklama	Bedel (MUSD)*
<i>proje geliştirme giderleri</i>	0.275
avan ve tatbikat projeleri	0.200
teknik ve idari danışmanlık ücretleri	0.050
finans geliştirme faaliyetleri	0.025
<i>inşaat işleri</i>	2.230
betonarme inşaat+hafriyat ve zemin hazırlama	0.550
çelik imalat (kompostlama reaktörleri)	1.680
<i>ekipman temini + montaj</i>	0.650
<i>konveyörler</i>	0.990
<i>işletmeye alma faaliyetleri+testler</i>	0.200
<i>eğitim giderleri</i>	0.150
400 t/gün Çorum kompost tesisi ilk yatırım toplam maliyeti	4.495 MUSD (2001 yılı)
Kompostlama tesisi arazi gereksinimi**: 4.8 ha (400.0x120.0 m)	

* MUSD= milyon Amerikan Doları, ** maliyet hesaplarında arazinin bedelsiz sağlanacağı varsayılmıştır

İşletme giderleri

Kompostlama tesisinin işletme giderleri arasında personel giderleri, hayvan atığı taşıma giderleri, enerji kullanımı tüketim malzemeleri, faizler, bakım masrafları sayılabilir. Bu unsurlar arasında en önemli gider enerji sarfiyatıdır. Gelir ise üretilen kompostun satışından elde edilecektir. Kompost satış bedeli 1.5 cent/kg olarak alınmıştır. Bu bedelin hesaplanmasında Antalya/Kemer’de kurulu bulunan organik evsel atık kompostlama tesisi kompost satış değeri ve yurt dışı satış fiyatları esas alınmıştır.

Bu çerçevede hesaplanan Çorum kompost tesisi gider ve gelirleri Tablo 4.18’de verilmiştir. Sisteme ait maliyet analizleri yine düzleştirilmiş yaşam çemberi (*levelized life-cycle cost*) yöntemi ile yapılmıştır. Yıl bazında düzeltme faktörü %3 ve %5 olarak kabul edilmiştir. Tesise ait gelir analizi Tablo 4.19.’da verilmiştir. Yaklaşık 5 yıllık bir işletme sonucunda 4.95 MUSD olan ilk yatırım bedelinin %5 faiz ile karşılandığı görülmektedir. Bu süreç sonunda kompost tesisi karlı duruma geçmektedir.

Tablo 4.18. Çorum kompost sistemi için öngörülen işletme giderleri ve gelirler

İşletme giderleri, USD/yıl	Gelirler, USD, yıl
personel $8 \text{ kişi} \times 900 \text{ USD/ay} \times 12 \text{ ay} = 86\,400 \text{ USD/yıl}$ gübre taşıma Bir kamyonun 250/km-gün yol katettiği, 10t taşıdığı, ortalama taşıma mesafesinin 20 km olduğu varsayılarak, 400t gübre + 250t diğer atıklar için $650 \text{ USD/gün} \times 360 = 234\,000 \text{ USD/yıl}$ enerji kullanımı Tesisin gücü 1037 kW dir, yedek ekipmanlar dahil kurulu güç ise 1287 kW olarak hesaplanmıştır. Gücün ortalama %75'inin kullanıldığı varsayımı, ve çevre koruma tesisi için enerji bedeli 3.75 cent/kWh kabulü ile $0.0375 \text{ USD/kWh} \times 778 \text{ kWh} \times 24 \times 360 = 252\,072 \text{ USD/yıl}$ su+tüketim malzemesi $50 \text{ m}^3/\text{gün} \times 0.25 \text{ USD/m}^3 = 12.5 \text{ USD/gün su}$ +50 USD/gün tüketim malzemesi $62.5 \text{ USD/gün} \times 360 = 22\,500 \text{ USD/yıl}$ faizler yatırım bedelinin yıllık %5 faizli kredi ile alındığı varsayılarak 224 750.-USD/yıl (1. yıl için) sigorta tahmini 30 000.- USD/yıl çevre kirliliği ölçümleri tahmini 15 000.-USD/yıl yıllık bakım onarım giderleri tahmini 40 000.-USD/yıl diğer 2xloader karıştırma+nakil işlemleri için işletme gideri, $350 \text{ USD/gün} \times 360 \text{ gün} = 126\,000 \text{ USD/yıl}$	gübre (toprak şartlandırıcısı) 485 ton/gün üretim için, 1.25 cent/kg satış bedeli ve yıllık üretimin %75'inin satılması varsayımları ile, $1.5 \text{ cent/kg} \times 485\,000 \text{ kg/gün} \times 360 \times 0.75 = 1\,964\,250 \text{ USD/yıl}$
1 030 722.-USD/yıl	1 964 250.- USD/yıl
kompost üretim maliyeti: 5.9 USD/ton , 0.59 cent/kg	

Tablo 4.19. Çorum kompostlama sistemi işletme periyodu için gelir analizi

yıllar	İşletme gideri+faiz*, x1000 USD/yıl	Net gelir, x1000 USD/yıl	Net gelir, %3 düzeltme faktörü, x1000 USD/yıl	Kümülatif gelir, %3 düzeltme faktörü, x1000 USD/yıl	Net gelir, %5 düzeltme faktörü, x1000 USD/yıl	Kümülatif gelir, %5 düzeltme faktörü, x1000 USD/yıl
1	1030.722	933.528	905.522	905.522	886.852	886.852
2	984.045	1040.954	978.497	1884.019	936.859	1823.711
3	931.998	1093.002	994.632	2878.651	929.052	2752.762
4	877.348	1147.652	1009.934	3888.585	918.122	3670.884
5	819.962	1205.035	1024.280	4912.685	903.776	4574.660
6	805.972	1219.028	999.603	5912.468	853.320	5427.980
7	805.972	1219.028	963.032	6875.500	792.368	6220.348
8	805.972	1219.028	926.461	7801.961	731.417	6951.765

* %5 yıllık faiz oranı varsayılmıştır, net gelir ödendikten sonra faiz uygulaması yapılmıştır.

4.2.4. Alternatif yaklaşım – çiftliklerin bireysel kompost tesisi kurmaları

Çorum'dan kaynaklanan hayvansal atıkların kompostlama yoluyla bertarafının bireysel olarak çiftliklerde gerçekleştirilmesi alternatifi incelenmiştir. Burada, kompostlama prosesi genelde iki aşamalı olarak düşünülebilir. Birinci kademede gübre ve uygun oranda karıştırılmış diğer organik atıklar yaklaşık 55° C hijyenleşme sıcaklığında minimum 3 gün bekletilmektedir. İkinci aşamada ise kompostun olgunlaşması için 21 gün depolama işlemi yapılmaktadır. Çiftliklerin bireysel kompost tesisi kurmaları yaklaşımında aşağıda verilen kriterler uygulanmıştır.

- Kompostlaşma prosesinin (birinci aşama) bireysel olarak çiftliklerde yapılması

Bu durumda çiftlikler için arazi gereksinimi minimum düzeyde tutulacaktır. Hayvan gübresinin kaynaklandığı yerde ve sürede hijyenik hale getirilmesi sağlanacaktır. Gübrede su buharlaşması ve katı madde giderimi sonucu yaklaşık %10 ağırlık azalması sağlanacaktır. Gübre daha kolay taşınabilir hale getirilecektir. Esasen ABD 'de EPA kuralları çerçevesinde ham gübrenin karayolu ile taşınmasının sakıncalı olduğu belirtilmiştir. Kompostlama prosesi yapı itibarı ile basit ve fazla teknik bilgi, işgücü gerektirmeden uygulanabilir niteliktedir. Bu durumda çiftlik personeli tarafından günlük mesaiden 2-3 saatlik bir bölüm ayrılarak işletilebilir.

- 21 gün süre ile olgunlaştırma amacıyla depolama işlemi ile paketleme ve satış süreçleri merkezi bir tesiste gerçekleştirilmesi

Bu yaklaşımda bir örnek çiftlik için kompost sistemi tasarımı yapılmış, maliyet hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.20 ve 4.21'de özetlenmiştir. Tasarım ve maliyet analizi yaklaşık 42 000 yumurta üreten tavuk için yapılmıştır. Bu durumda örnek çiftlikten 7140 kg/gün atık kaynaklandığı kabul edilmiştir.

Bireysel kompostlama tesisi ilk yatırım giderinin bir ön yaklaşım ile yaklaşık 5.5-6 yıl içinde geri döndürülebileceği hesaplanmıştır. Bu durum genelde tüm atıklar için kompost tesisi kurulması seçeneği ile aynı mertebededir. Bireysel düzeyde kompost tesisi kurulmasının avantajı kompostlama prosesi sonucunda ağırlık azalması ile yaklaşık %10 gübre taşıma

giderlerinde azalma ve gübrenin daha hijyenik koşullarda nakliyesinin sağlanması olarak özetlenebilir. Bu yöntemin dezavantajı ise merkezi sistemde işletmenin daha teknik yapılabilmesi, merkezi sistemdeki işletme ve kontrol kolaylıklarıdır.

Tablo 4.20. Çorum kompostlama sistemi – çiftliklerin bireysel reaktör kurması yaklaşımı tasarım kriterleri (42000 tavuk ve 7140 kg/gün atık kapasitesi için)

Birim	Özellik
tanım <i>işlev</i>	ham gübre toplama karıştırma tankı gübrenin toplanması, saman, talaş, çöp vb diğer organik atıklar ile karıştırmanın sağlanması, C/N oranının ayarlanması
adet	1
malzeme	betonarme veya çelik imalat
kapasite	54 m ³
ekipman	6.0x6.0x1.5 m (yükseklik), 0.3 m hava payı mekanik karıştırıcı, düşey milli, 1 adet, 3.0 kW
organik atık ilavesi	yaklaşık günde verilen tavuk gübresi kadar (%40-50 oranında) saman, kağıt, evsel organik çöp, ağaç, yaprak vb organik atık eklenmelidir.
tanım <i>işlev</i>	kompostlaştırma reaktörü (döner tambur tipte) gübre karışımının oksik koşullarda mikroorganizma faaliyeti sonucu kompostlaşmasını sağlamak, 55° C sıcaklıkta patojenlerin ölmesi için gerekli bekleme süresini sağlamak
adet	1
malzeme	çelik, ısı izolasyonlu
hacim	111.3 m ³ , net çalışma kapasitesi = 73.4 m ³ , 4.8 saat bekletme süresi
boyutlar	Ø3.05x15.2 m
ekipman	1 dönüş/15 dak. Motor-redüktör gurubu, her reaktör için 3.7 kW Her reaktör için besleme konveyörü, 4.0 t/saat kapasitede, 1.5kW Her reaktör için boşaltma konveyörü, 4.0 t/saat kapasitede, 1.5kW (manuel olarak besleme boşaltma da yapılabilir)
	Oksijen ihtiyacı dönme ile sağlanacaktır, ayrıca havalandırma sistemi öngörülmemiştir.
	Not : Toplu kompostlama sistemi için tasarımı yapılan 14 000 m ² alan içeren olgunlaştırma bekletme holü bireysel kompostlama prosesi uygulanması durumunda da tüm bireysel kompostlama reaktörlerinden gelen kompostlar için kullanılabilir.

Tablo 4.21. Bireysel kompostlama yapılması durumunda ilk yatırım - işletme giderleri ve arazi kullanımı

Parametre/açıklama	Bedel (USD)
<i>ilk yatırım bedeli (toplam)</i>	164 900.-
<i>işletme giderleri</i>	
Enerji ihtiyacı 3.7 kWx16 saat+6.0 kWx8 saat= 107.2 kW gün 38592x0.0375 USD/kWh	1450.- USD/yıl
<i>personel gideri</i> 1/4 personel yılda, 1000 USD/ayx12x1/4	3000.- USD/yıl
<i>gelirler</i> taşıma ve olgunlaştırma işlemleri çıkartıldıktan sonra 0.75 cent/kg bedel varsayılarak, yaklaşık 12000 kg/gün kompost için, tamamının satıldığı düşünülerek. 0.0075x12000x360	32 400.- USD/yıl
<i>ilk yatırım giderinin geri dönme süreci</i>	~5.5-6 yıl
Bireysel kompostlama tesisi arazi gereksinimi*: 180 m² (6.0x30.0 m)	

* maliyet hesaplarında arazinin bedelsiz sağlanacağı varsayılmıştır

4.2.5. Türkiye ve Avrupa Birliği kompost tesisleri – standartlar ve özet değerlendirme

Ekonomik olarak incelendiğinde biyolojik atık arıtmalarındaki aşamalar; kaynağında ayrı toplama, taşıma, arıtım ve biogaz/kompost üretimi olarak değerlendirilir. Kompost prosesine odaklanıldığı zaman ayrı toplamış organik atıkların taşınmasının diğer evsel çöplerin taşınmasından daha pahalı olmadığı gözlenmiştir. Ancak, kaynağında ayrı toplama evsel çöp toplama prosesinden daha pahalıya mal olacaktır. Bazı Avrupa ülkelerinde deponi alanlarında çöp uzaklaştırmak oldukça pahalıdır. Bu durumlarda kompostlama daha ekonomik hale gelmektedir. Yakma prosesi biyolojik arıtmaya göre yaklaşık 2-4 misli daha pahalıdır. Kompostun satışı ise ülkenin ekonomik durumuna ve bölgesel pazara bağlıdır.

Kompost içeriğinde azotun uygun oranda bulunması (1-1.5%KM) bitki büyümesinde senelerce etkin olmaktadır. P₂O₅ (0.5-1 %KM) konsantrasyonunun da bitki büyümesinde olumlu etkisi vardır.

Kompostun bitki hastalıklarının kontrolü konusunda da önemli etkisi vardır. Kompostlama sırasındaki sıcaklığın tavsiye edilen değerlerde tutulması patojenleri yok eder. Ayrıca kompostun stabil durumda olması da ekimin verimli olmasında önemli bir etkidir. Birçok bitki patojenleri (phytophthora, pythium, rhizoctonia) kompost kullanımı sayesinde yok olur. Kompost uygulaması sayesinde rüzgar erozyonları da bir ölçüde engellenmektedir.

Avrupa Birliği'nin etiketleme direktifleri kapsamında “toprak iyileştiriciler” içinde standart geliştirmiştir (94/923/21, 31 Aralık 1994). Bu standartta üretilen kompostun kesinlikle insan sağlığına ters bir etkisi olmaması konusundaki zorunluluk belirtilmiştir. Üretilen kompostun etiketleme kapsamında aşağıdaki konular etiket üzerinde belirtilmelidir.

Üretici firma/kişi, kompostun özellikleri
Saklama koşulları, üretim kodu, tarihi
Kullanma amaçları
Kullanma talimatları
Halk sağlığı konusundaki ayrıntılar.

Standartta; kompost içeriğinde en az %25 KM ihtiva etmesi gerektiği belirtilmiştir. Bitki büyümesinin ve ekimin verimli olması için; 8 g/m² azot ve 12g/m² K₂O içermesi gerektiği belirtilmiştir. Sağlık açısından Salmonella miktarının 25 g dan az olması ve E.colinin ise 1000 MPN (ortalama olası değer) den az olması gerekmektedir. Ayrıca kompost uygulamadan sonra hiçbir kokuya neden olmamalıdır. İnsan sağlığına açısından kompost cam, tel, metal ve sert plastik içermemelidir. Standartta verilen madde limit miktarları Tablo 4.22’ de özetlemiştir.

Tablo 4.22. Kompostun kuru ağırlık bazındaki içeriği (AB standardı)

madde	mg/kg
Zn	300
Cu	75
Ni	50
Cd	1.5
Pb	140
Hg	1
Cr	140
Mo	2
Se	1.5
As	7
F	200

Ülkemizde üreticilere yol gösterecek yasal düzenlemeler 1991 yılında Resmi Gazete’de yayınlanarak yürürlüğe girmiş olan “*Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği*” nde yer almaktadır. Yönetmeliğin kompost ile ilgili içeriği Tablo 4.23’de verilmiştir.

Tablo 4.23. Tarımda kullanılmak istenen kompostun kalite kriterleri (*Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği*)

Madde 36. Kompostun tarımda kullanılması için;

1. Kompostun hijyenik yönden kusursuz olması, insan ve tüm canlı sağlığını tehdit etmemesi,
2. C/N oranının 35'ten daha büyük olması halinde kompost reaksiyonunun optimum şartlarda cereyan edebilmesi için reaktördeki kompostta azot beslemesinin yapılması,
3. Toprak ıslahı için kullanılacak kompostta, organik madde muhtevasının kuru maddenin en az %35'i oranında olması,
4. Piyasaya sürülen kompostun su muhteva oranının %50'yi geçmemesi,
5. Üretilen kompostun dane büyüklüğü itibari ile sınıflandırılması,
6. Piyasaya sürülen kompost içinde, cam, curuf, metal, plastik, lastik, deri gibi seçilebilir maddelerin toplam ağırlığının %2'sini geçmemesi gerekir.

Kompostun Ağır Metal Muhtevası ve Sınır Değerleri

Madde 37. Bazı metaller yüksek konsantrasyonlarda canlılar üzerinde zehirlenme etkisi gösterebileceğinden tarım alanlarına kontrollü olarak verilmesi için,

1. Üretilen kompostun ağır metal muhtevaları, en fazla üçer aylık aralarla, ihtiva ettikleri kurşun, kadmiyum, krom, bakır, nikel, civa ve çinko yönünden analiz edilmesi,
2. Kompostun kullanılacağı arazi bir hektardan büyükse toprağın pH değeri, ihtiva ettiği kurşun, kadmiyum, krom, krom, bakır, civa ve çinko yönünden analiz edilmesi,
3. Numunelerin tekniğine ve usulüne uygun olarak alınması ve tüm kütleyi temsil edici olması,
4. Toprak analizleri sonucu, topraktaki ağır metal içeriklerinin (EK-IV A)'da yer alan değerleri aşmaması halinde söz konusu araziye verilen yükün (EK-IV/B)'de belirtilen değerleri aşmaması gerekir.

Ek IV/A : Toprakta Müsaade Edilen Maksimum Ağır Metal Muhtevaları (kuru toprakta mg/kg olarak)		Ek IV/B : Bir Yılda Araziye Verilmesine Müsaade Edilecek Ağır Metal Yüğü (yılda hektar başına gram olarak)	
Ağır Metal	Topraktaki Sınır Değer	Ağır Metal	Sınır Yük Değerler
Kurşun	100	Kurşun	2000
Kadmiyum	3	Kadmiyum	33
Krom	100	Krom	2000
Bakır	100	Bakır	2000
Nikel	50	Nikel	330
Civa	2	Civa	42
Çinko	300	Çinko	5000

Kompost kalite kriterlerinin belirlenmesinde en önemli faktör içerdiği ağır metalle ve patojen miktarlarıdır.

4.2.6. Avrupa Standartlarına örnek bir uygulama - AVUSTURYA

Avusturya ülkesinde Ö-NORM S 2200 standardı kompost kalitesi için geliştirilmiştir (Tablo 4.24). Bu standart, Avusturya, Almanya, Hollanda ve İsviçre araştırma enstitüleri ve üniversiteleri tarafından geliştirilmiştir. Bu standartta ağır metaller ve diğer problemli elemanlara daha fazla önem vermiştir. Bu yüzden bu rapor kapsamında Avrupa Birliği standartlarını temsil edecek kompost kriterleri seçiminde Avusturya'nın kompost kriterleri örnek olarak alınmıştır.

Kompostun içerdiği ağır metal miktarı toprağın maksimum %70 seviyesine kadardır. Elde edilen kompost hem toprak iyileştirici hem de gübre olarak kullanılabilir. Bir tek toprak iyileştirici amaçlı kullanılacak kompost için başka kriterler mevcuttur ve Ö-NORM S 2022 standardı altında derlenmiştir.

Uzmanlar kompost içeriğindeki organik kontaminanlar için bir limit değer belirtmediklerini ve bunun nedeni olarak kompost prosesini durdular/yavaşlattıkları için bu maddelerin kendi kendilerini limitleme özelliği olduğunu kabul etmektedir. Kompostlar kalite açısından garantilenmiştir ve buda Ö-NORM Enstitüsü tarafından sağlanmaktadır.

Kompostun kalitesinin korunması içinde uygulanması gereken bir prosedür mevcuttur. Bu prosedüre göre kompost kalitesinin iki ayda bir kontrol edilmesi ve onaylanması gerekmektedir. Bu çerçevede her ayrıca 2000 m³ miktarındaki kompost hacmi için kontrol uygulanmalıdır. Ayrıca, küçük kompost üreticileri için her sene kompost üretimleri kontrol edilmelidir. Bu kontroller örnekleme ve analiz çalışmalarını da içerip devlet kuruluşları ve/veya devlet tarafından yetki verilen kurumlar tarafından gerçekleştirilecektir.

Uygulama esnasında kompost kullanımını kısıtlayan diğer yönetmelikler de dikkate alınmaktadır. Gübre olarak kompostun kullanımı 7 ton/hektar/yıl olarak kısıtlanmıştır. Ayrıca toprak iyileştirici olarak kullanıldığı zamanda gene Ö-NORM S tarafından 10 ton/hektar/yıl olarak kısıtlanmıştır.

Avusturya standartları incelendiğinde tüm evsel atıklardaki organik atık oranı %27 dir. Ülkenin nüfusu 8.4 million olup atık üretimi 570 kg/kişi-yıl dır. Kompost üretiminde en önemli faktör atıkların kaynağında ayrı toplanmasıdır. Bu konu ile ilgili olarak Avusturya ya ait atık kompozisyonu ve kompost prosesleri aşağıda özetlenmiştir.

Atık türü	Atık miktarı (milyon ton)	Miktar (kg/kişi)
Evsel Atık	4.8	570
Organik atık	1	113
Evsel atık (diğer)	2.1	265
Endüstriyel organik atık	1.15	
Park tipi atıklar	0.11	14

Tablo 4.24. Avusturya. Ö-NORM Standartına göre kompost standartları

parametreler	Ö-NORM S 2200 limitleri
Organik içerikler (%KM)	
Uçucu katı maddeler	>20
Toplam karbon	>12
Makronutrientler	
Toplam azot (%KM)	<0.2
Toplam nitrat (N-NO ₃) (%KM)	<0.1
Toplam amonyak (N-NH ₄) (%KM)	Üretici tarafından tayin edilir
Fosfor (toplam P ₂ O ₅)	Üretici tarafından tayin edilir

Fosfor (mümkün olan) Kalsiyum (toplam CaO) Potasyum (toplam K ₂ O) (%KM) Potasyum (mümkün olan) (%KM) Manganez (toplam MgO) (%KM) Bor (mg/kg KM) Karbon/azot oranı C/N (-) parametreler	Üretici tarafından tayin edilir Üretici tarafından tayin edilir Üretici tarafından tayin edilir Üretici tarafından tayin edilir Üretici tarafından tayin edilir <10 Üretici tarafından tayin edilir Ö-NORM S 2200 limitleri
Ağır Metaller (mg/kg %KM^{xxx}) Krom Nikel Bakır Çinko Kadmiyum Civa Kurşun Lindane	70 42 70 210 0.7 0.7 70 0.1
Fiziksel özellikler Nem içeriği (%ham ağırlık) Nem kapasitesi (%KM) Ham yoğunluk (kg l ham ağırlık) pH(H ₂ O) (-) EC (µS/cm) Tanecik boyutu > 25 mm (%KM) Toplam fiziksel kontaminasyon (%KM) Plastikleride içererek > 2 mm (%KM) Plastikleride içererek > 20 mm (%KM) Bitki tolerans payı, 15% kompost Bitki biyokütle (% referans kütlesinin) Germinasyon gecikmesi (gün) Germinasyon sayısı (%) Bitki toleransı, %30 kompost Bitki biyokütle (% referans kütlesinin) Germinasyon gecikmesi (gün) Germinasyon sayısı (%) Bitki toleransı, %45 kompost Bitki biyokütle (% referans kütlesinin) Germinasyon gecikmesi (gün) Germinasyon sayısı (%)	25-50 >100 <0.85 Kompost üreticisi tayin eder. <2.0 <3 <0.5 0.2 0 100 0 100 100 0 100 90 1 100

Avusturya da tüm atıklar belediye tarafından toplanmaktadır. Özellikle organik atıkların toplanmasında merkezler kurulmuştur. Evsel organik atıklar buralarda biriktirilmektedir. Bu merkezlerin yaşam birimlerine yakın olmasına dikkat edilmiştir. Burada uygun şartlar mevcutsa o merkezde kompost prosesine tabi tutulur. 30 km'den uzak olan kompost tesisleri için öncelikle transfer istasyonları kurulur ve buralarda toplanan atıklar kompost tesislerine taşınır.

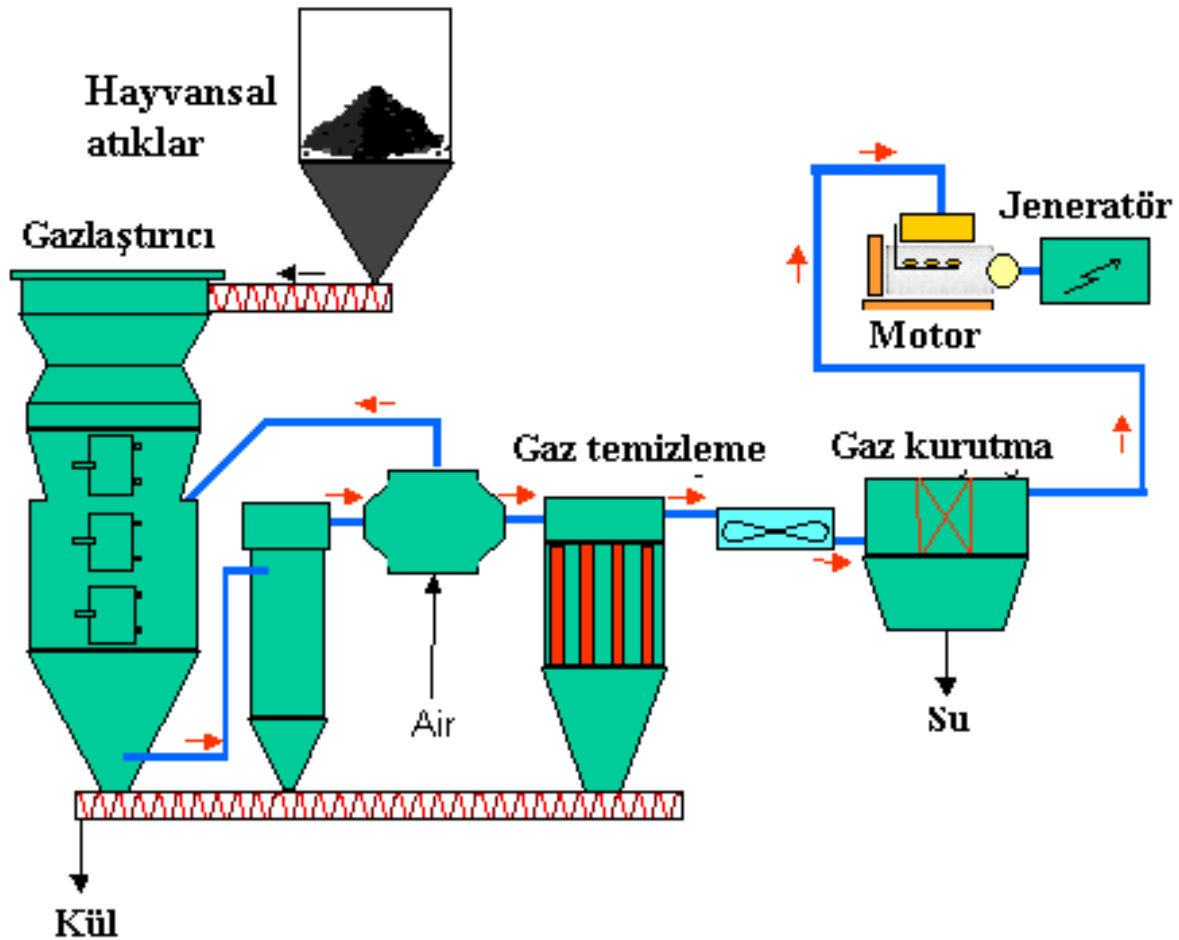
Aynı şekilde Danimarka için atıkların kaynakta ayrılması atık yönetimi için temel oluşturmuş bir durumdadır. Bu kapsamda evsel meyve ve sebze atıklar, park ve bahçelerden kaynaklanan atıklar ve restoran atıkları ayrı olarak toplanmaktadır. Ayrı olarak toplanmış atıklara havasız çürütme ve kompostlama prosesleri uygulanmaktadır. Danimarka da toplam 136 adet kayıtlı

kompost tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerden 120 adeti belediyelere aittir. Diğerleri atık toplama firmalarına veya atık sahiplerine aittir.

4.3. Manyas Pilot Bölgesi Gazlaştırma Sistemi

4.3.1. Hayvansal kökenli atıkların gazlaştırılması

Gazlaştırma, katı hayvansal ve biyokütle kökenli atıkların kısmi oksijen ortamında gaz yakıtı dönüştürme işlemi olup üretilen gaz, gaz motoru veya gaz türbini sistemlerinde kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülür. Şekil 4.3'de bir gazlaştırıcı sisteminin temel çalışma prensibi basit olarak verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi gazlaştırıcıdan çıkan gaz temizlenip kurutulduktan sonra bir gaz türbini veya motor ünitesine gönderilerek elektrik enerjisine çevrilmektedir. Egzost gazlarından ise termal güç elde edilmektedir. Üretilen gazın ısı değeri kullanılan atık kaynağına bağlı olarak 4000-4600 kJ/kg arasında değişmektedir. Günümüzde, 4-10 kW güce sahip gazlaştırıcılar su pompalama için, 15-300 kW kapasiteli sistemler termal uygulamalar için, 300kW'dan büyük sistemler elektrik ve ısı üretimi için yaygın biçimde kullanılmaktadır (Olgun, 2001).



Şekil 4.3. Gazlaştırma sisteminin temel çalışma prensibi

4.3.2. Atıkların yakıt karakteristikleri

Gazlaştırma sistemlerinin tasarımında atıkların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri çok iyi belirlenmelidir. Bu özellikler yakıtın (Reed, 1996):

- Isıl değeri,
- Nem miktarı,
- Parça boyutu ve dağılımı,
- Sıkıştırılmış yoğunluğu,
- Uçucu madde miktarı,
- Sabit karbon miktarı,
- Kül miktarı ve içeriği,
- Yakıt reaktivitesi,
- Elementel analiz değerleri,
- Kirletici emisyonları

olmaktadır.

Yakıtın ısı değeri bomba kalorimetresi ile tayin edilir. Bir çok biyokütle kökenli atığın ısı değeri 10-16 MJ/kg arasında değişmektedir.

Nem miktarı ise atığa bağlı olarak değişir. Gazlaştırma için yakıtta % 20 'nin altında nem tercih edilir. Yüksek nem; termal verimi ve ısı değeri düşürür. Ayrıca yakıtın ateşlenmesini de güçleştirir.

Yakıt boyutu ve dağılımı gazlaştırıcı içinde basınç düşümü üzerine etki eder. Sistem içindeki büyük basınç düşüşleri sıcaklıkta düşmeye ve yüksek katran oluşumuna neden olur. Büyük ve düzensiz yakıt parçacıkları prosesin başlamasını geciktirerek gaz kalitesini düşürür. İdeal boyut, gazlaştırıcı için 80x40x40 ile 10x5x5 mm arasında değişmektedir.

Sıkıştırılmış yoğunluk birim hacim başına kütle olarak tanımlanır ve yakıtın nem miktarı ve parça boyutuna bağlı olarak büyük değişiklik gösterir. Ayrıca gaz kalitesi üzerine de etki yapar.

Gazlaştırıcıya yüklenen yakıtın formu da gazlaştırma prosesi üzerine etki eden önemli bir faktördür. Burada yoğunluğu artırılmış biyokütle yakıtı daha fazla tercih edilmektedir. Bu nedenle biyokütle yakıtı, küçük topaçlar (biriket) haline getirilerek hem yoğunluğu artırılır hem de homojen bir boyut kazandırılır. Bu işlemin ek bir enerji maliyeti getireceği de açıktır.

Yüksek uçucu madde içeren yakıtların katran, yağ ve çeşitli organik buharları piroliz bölgesinde açığa çıkar. Bu açığa çıkan bileşimler gaz türbini veya içten yanmalı motorlara zarar verir. Bu nedenle gaz temizleme çok önemli olmaktadır.

Yakıtın sabit karbon miktarı ısı değeri etkiler. Yakma prosesi sonucu kalan maddeler kül olarak adlandırılır. Pratikte kül içerisinde bazı yanmamış yakıtta bulunabilmektedir.

Kül miktarı ve bileşimi gazlaştırıcının problemsiz çalışması üzerine etki yapar. Külün gazlaştırıcı içinde ergimesi cüruflaşmaya ve gazlaştırıcı yüzeylerinde tabakalaşmaya neden olur. Bu da zaman içerisinde reaktörde tıkanmasına yol açar. Genelde %2'den daha düşük kül oranına sahip biyokütlenin gazlaştırılmasında bu problem fazla oluşmaz.

Reaktivite, gazlaştırıcı içerisinde CO'nin CO₂ 'e indirgenmesi olarak tanımlanır. Yakıtın tipine bağlı olarak reaktivite değişir. Örneğin odun kömüre göre daha reaktif bir yakıttır.

Elementel analizle de yakıtın bünyesinde bulunan C, H, O, N, S oranları belirlenir. Bu değerler; çıkan gazın bileşimi, ısı değeri ve sıcaklık limitleri hakkında bilgi verir. Böylece enerji ve kütle dengelerinin kurulmasına yardımcı eder.

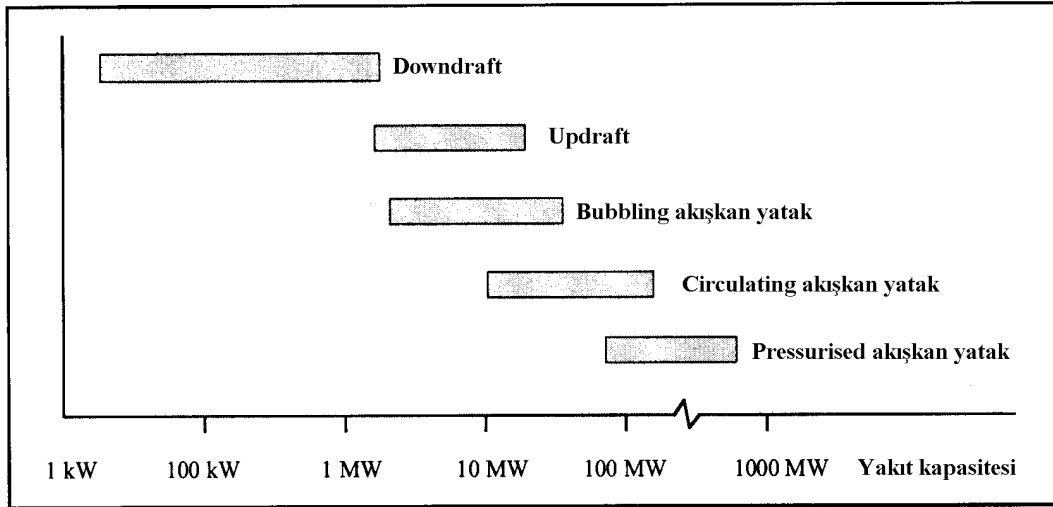
Biyokütle atıklarının yakılması ile ilgili önemli problemlerden birisi de yakıtta bulunan sülfür, nitrojen, klorin ve diğer bileşenlerin gaz içerisinde SO_2 , NO_x , N_2O , HCl, dioksin ve furan'a dönüşmesidir. Biyokütle yakma sistemlerinde yakma prosesinin kül ergime sıcaklığının altında olması nedeniyle yüksek miktardaki yanmamış kirleticiler beklenebilir. Bununla beraber bu kirleticileri kontrol etmek daha kolaydır. Bu da uygun bir reaktör tasarımı ve çok geçişli yakma uygulanarak sağlanabilir. Biyokütle içinde N ve S kömüre göre göreceli olarak oldukça düşük olduğundan SO_2 , NO_x ve N_2O gibi emisyonlar fosil kökenli yakıtların yanmasından çıkan değerlere göre oldukça düşüktür (<http://www.members.tripod.de/cturate.fue.html>, 2000).

4.3.3. Gazlaştırıcı tipleri

Gazlaştırma birbirini takip eden üç adımda gerçekleşir. Bunlar:

- **kurutma:** nemin uzaklaştırılması işlemi,
- **piroliz:** gaz, katran, yağ ve katı char oluşturma işlemi,
- **gazlaştırma:** car ve piroliz ürünlerinin gazlaştırılması işlemi, olmaktadır.

Biyokütle ve hayvansal atıklar başlangıçta bir katı yakıt olup, çeşitli modifikasyonlar yapılmadan enerji dönüşüm sistemlerinde kullanılması zordur. Biyokütleyi, gaz ve sıvı enerji taşıyıcıları haline getirerek değerlendirmek uygulamalarda büyük avantajlar sağlar. Bu da ancak gazlaştırıcılarla mümkün olmaktadır. Biyokütle yakıtlı gazlaştırıcı sistemlerinin tasarımında güç için bir çalışma bölgesi bulunur. Kurulacak yere ve yakıtı bağlı olarak bu sistemlerin 1-100MWe arasında tasarlanması ekonomik açıdan tercih edilir. Şekil 4.4'de farklı güç bölgeleri için en uygun gazlaştırıcı tipleri verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi 1.3 MW yakıt gücüne kadar olan sistemlerde "Downdraft" gazlaştırıcılar seçilirken, 1-25 MW yakıt güçlerinde hem "Updraft" hem de "Bubbling akışkan yatak" gazlaştırıcılar tercih edilebilmektedir. 100MW yakıt gücünün üzerinde ise "basınçlı akışkan yatak" gazlaştırıcılar kullanılır(Rensfelt, 1999).



Şekil 4.4. Yakıt kapasitesine göre gazlaştırıcı seçimi

Tablo 4.25'de gazlaştırma için çeşitli gazlaştırıcı reaktör tipleri verilmiştir. Temel olarak sabit yatak, akışkan yatak, hareketli yatak ve diğerleri olmak üzere 4 tip gazlaştırıcı tasarlanabilmektedir. Tablo 4.26'da ise seçilmiş gazlaştırıcılar için reaksiyon sıcaklığı ve güç bölgeleri verilmiştir (Bridgwater, 1995).

Tablo 4.25. Gazlaştırıcı tipleri

1.Sabit yatak
Downdraft: katı akışı ve gaz çıkışı aşağı doğrudur
Updraft: katı akışı aşağı doğru, gaz akışı ise yukarı doğrudur.
Concurrent: katı ve gaz akışı aynı doğrultudadır (downdraft)
Countercurrent: katı ve gaz akışı ters yöndedir (updraft)
Cross-current: katı akışı aşağı doğru, gaz akışı dik doğrultuda sağa veya sola doğrudur
Variations: karışık yatak, iki kademeli gazlaştırma
2. Akışkan yatak
<i>Bubbling akışkan yatak: düşük gaz hızı, inert katı reaktörde kalır</i>
Circulating akışkan yatak: inert katı yıkatılır, ayrıştırılır ve yeniden gazlaştırıcıya gönderilir, bazen hızlı akışkan yatak veya ikiz reaktör sistemleri olarak da tanımlanır
3. Hareketli yatak
Katının mekanik taşınması genellikle düşük sıcaklık prosesinde olur, yatay hareketli bir yatak, eğimli ocak, vidalı/burgulu ocak
4. Diğerleri
Rotary kiln: iyi gaz katı teması vardır, katıların da taşınmasından sakınmak için dikkatli bir tasarım gerekir
Cyclonic reaktors: yüksek parçacık hızı ve yüksek reaksiyon oranı verir
Vortex reaktör: siklon reaktöre benzer şekilde çalışır.

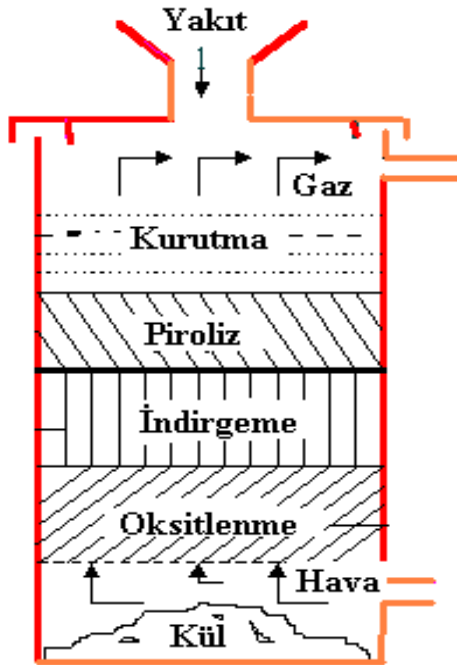
Tablo 4.26. Sabit yatak ve akışkan yatak gazlaştırıcılar için sıcaklık ve güç bölgeleri

	Sıcaklık °C		Katran	Kapasite maksimum t/h	Güç MWe	
	Reaksiyon	Gaz çıkışı			Min	Max
<i>Sabit yatak</i>						
Downdraft	1000	800	ç. düşük	0.5	0.1	1
Updraft	1000	250	ç. yüksek	10	1	10
Crossdraft	900	900	ç. yüksek	1	0.1	2
<i>Akışkan yatak</i>						
Bubbling akışkan yatak	850	800	yüksek	10	1	20
Circulating akışkan yatak	850	850	ç. yüksek	20	2	100

Updraft gazlaştırıcı: Bu gazlaştırıcıda biyokütle yakıtı aşağı doğru hareket ederken yukarı doğru çıkan sıcak gazlarla kurutulur. Nemi alınmış katı yakıt daha sonra piroliz bölgesinde katran ve chara dönüşür. Char gazlaştırıcı içerisinde yer çekiminin etkisi ile aşağı doğru hareket ederken gazlaştırma bölgesinde gazlaştırılır. Piroliz ürünleri ise yukarı doğru hareket eden sıcak gazlarla taşınır. Bu ürünler içerisinde bulunan katran, ya yakıt üzerine yapışarak kalır ya da üretilen gazlarla beraber reaktörün dışına taşınır. Böylece yüksek katran içeren bir yanabilir gaz karışımı elde edilir. Yoğunlaşıp yakıtı yapışan katran ise tekrar reaksiyon bölgesine geri gönderilir. Burada katran gaza dönüştürülür. Altındaki gazlaştırma bölgesinde pirolizden gelen katı char ve katran, gönderilen hava veya oksijen ile oksidasyona uğrar. Ayrıca buhar da gönderilerek daha yüksek seviyede hidrojen

de elde edilebilir. Şekil 4.5'de "updraft" gazlaştırıcıların çalışma prensibi verilmiştir. 10MW güç kapasitenin altındaki ısı uygulamalarında, "updraft" tipteki sabit yatak gazlaştırıcılar tercih edilmektedir. Burada, gazlaştırıcıyı terk eden gaz göreceli olarak düşük sıcaklıkta olup prosesin termal verimi oldukça yüksektir. Ayrıca, bu tip bir gazlaştırıcı ile %50'ye varan nemli olan biyokütleler bir ön kurutma işlemine gerek duyulmadan gazlaştırılabilirler. Bunun haricinde biyokütle yakıtının boyut özellikleri de bu gazlaştırıcı için çok önemli değildir. Bu gazlaştırıcının özellikleri:

- Çok basit ve sağlam bir tasarıma sahiptir,
- Gaz çıkış sıcaklığı düşüktür,
- Termal verim yüksektir,
- Üretilen gaz çok kirli ve yüksek seviyede katran ihtiva eder,
- Karbon dönüşümü yüksektir,
- Kül hasılatı nispeten azdır,
- Üretilen gaz direkt yakma için uygundur,
- Makine uygulamalarında ilave gaz temizleme sistemi gerekir,
- İyi kısma veya kapama özelliği vardır,
- Çok yüksek dönüşüm verimine sahiptir,
- Boyut büyütme potansiyeli oldukça iyidir.

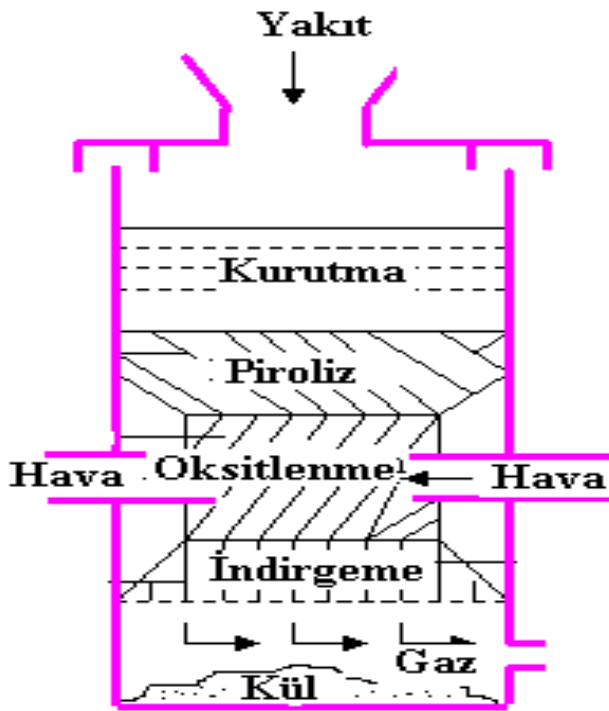


Şekil 4.5. Updraft gazlaştırıcı

Downdraft gazlaştırıcılar: Downdraft tipteki gazlaştırıcılar; basit, güvenilir, göreceli olarak kuru (%25'a kadar nem ve düşük kül, %1'den daha az) briketli ya da topraklı yakıtlar için uygundur. Yakıt tipi ve özelliklerinde "updraft" gazlaştırıcılara göre daha seçicidirler. Bu yakıtların parça boyutu 1 cm ile 30 cm arasındadır. Gaz içerisinde çok az miktarda katran bulunduğundan bu sistemler küçük güçlü sistemler için (özellikle içten yanmalı makineler) oldukça uygundur. Şekil 4.6'da downdraft bir gazlaştırıcıdaki yakıt ve gaz akışı görülmektedir. Parça çapı, boyutu ve diğer yakıt özelliklerindeki (nem ve kül) sınırlamalardan dolayı bu sistemler en fazla 1000kg/h ve 1MWe güç için tasarlanabilirler. Son yıllarda açık merkezli gazlaştırıcılar da tasarlanmaktadır. Burada ızgara üzerinde her hangi bir boğaz ya da yatak olmadığı için kapasite bir miktar daha artırılmıştır.

Downdraft tipte bir gazlaştırıcının temel özellikleri şunlardır:

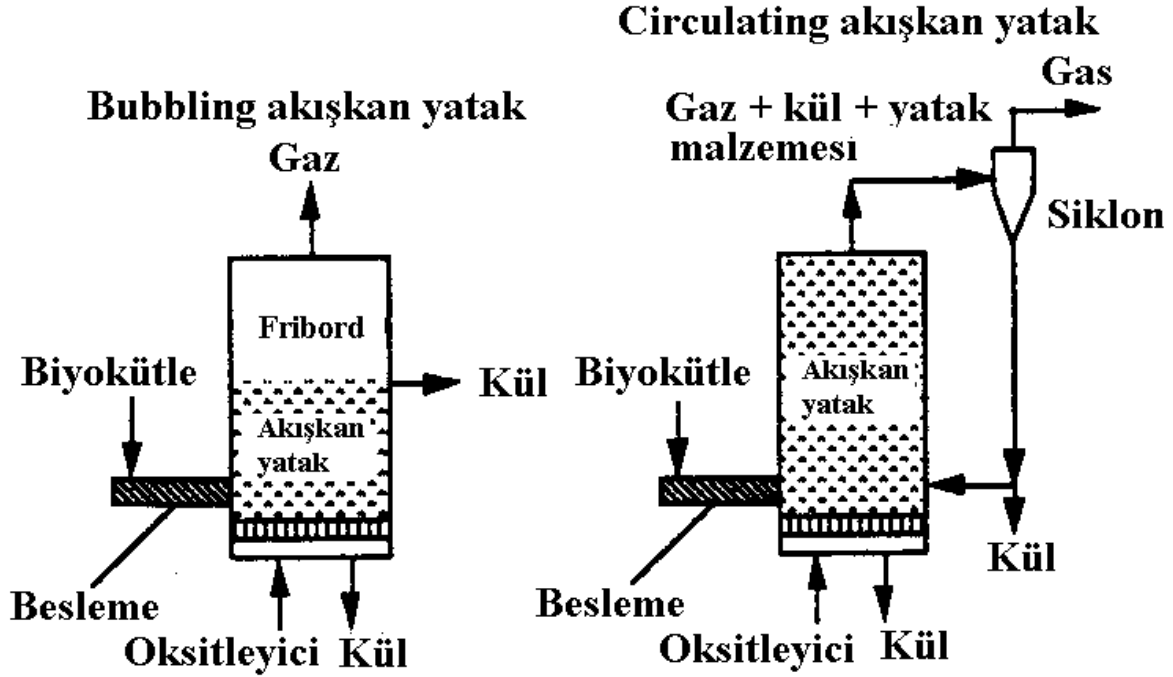
- Basit, güvenilir ve belli yakıtlar için denenmiş bir sistemdir.
- Göreceli olarak basit tasarıma sahiptir.
- Yakıtlarda belli bir boyut aralığı istenir.
- Düşük neme sahip yakıt kullanır.
- Nispeten temiz gaz üretilir.
- Gaz çıkış sıcaklığı yüksektir.
- Izgara üzerinde kül erime mümkün olabilir, bunun için kullanılacak yakıtın kül ergime sıcaklığı bilinmelidir.
- Özgül kapasite düşüktür.
- Yüksek karbon dönüşümü sağlanır.
- Kül hasılatı düşüktür.
- Sınırlı kapama veya kısma özelliğine sahiptir.
- Dönüşüm verimi yüksektir.
- Maksimum sistem boyutu sınırlıdır (yani kısıtlı boyut artırma kapasitesi vardır).



Şekil 4.6. Downdraft gazlaştırıcı

Akışkan yatak gazlaştırma sistemleri: Akışkan yatak gazlaştırıcılar ideal katı gaz teması ve karışımı, yüksek reaksiyon oranı gibi özellikleri nedeniyle son yıllarda en çok gelişme gösteren gazlaştırıcı tipi olmuştur. Akışkanlaştırıcı malzeme olarak genellikle silika ve kum kullanılır. Katran oluşumunu azaltmak için ayrıca katalistler de sisteme ilave edilir. Biyokütle gazlaştırılması son yıllarda güncel olmasına karşılık akışkan yatak teknolojisi üzerinde çalışmalar 50 yıldır yapılmaktadır. Akışkan yatak reaktörleri basit gazlaştırıcılar olup biyokütle gazlaştırma için işletme sıcaklığı 800-850°C'dır. Yakıtın gaza dönüşme prosesinin büyük bir kısmı yatak içerisinde tamamlanır. Buna rağmen bir miktar katı gaz dönüşümü serbest bölge içerisinde de devam eder. Bir çok durumda %100 karbon dönüşümü tamamlanır. "Bubbling akışkan yatak" gazlaştırıcıda üretilen gazdaki katran miktarı updraft ile downdraft gazlaştırıcıda üretilen katran arasındadır. Bazı piroliz ürünleri akışkan yatağın dışına sürüklenir. Bu ürünler daha sonra serbest bölgede termal parçalanmaya uğratılır. Yatak sinterleşmesinden dolayı akışkanlaştırıcılığın kaybı en önemli karşılaşılan problemdir. Bu olay kül karakterine bağlı olarak oluşan en önemli problemdir. Ayrıca, karbon kaybı da (küldeki) önemli olmaktadır. Bu nedenle akışkan yatak küçük boyutlu sistemlerde ekonomik olmamaktadır. Diğer bir problem de yüksek işletme giderleridir. Tüm bu olumsuzluklara rağmen akışkan yatak gazlaştırma çeşitli avantajlara da sahiptir. Güvenilir bir şekilde boyut büyütülebilir. Yakıt dağıtımı büyük yataklarda problem olabilir. Bunun için de çok noktadan besleme uygun bir çözümdür. İkiz yatak ve circulating akışkan yatak sistemleri her tip yakıt ve termokimyasal

proses için sağlanabilir. Katalitik termokimyasal proseslerde, yatak malzemesi katalistle yer değiştirir. Bu da yüksek maliyetli bir uygulamadır. Alternatif olarak ikinci bir katalitik reaktör önerilir. Akışkan yatak yüksek oranda ısı ve kütle transferi, ve çok iyi katı gaz fazı karışımı gibi sabit yatakla sağlanamayan bir çok özelliği de içermektedir. Bunun anlamı yüksek reaksiyon oranı ve sabit yatak sıcaklık dağılımıdır. Göreceli olarak küçük boyutlu parçacıklar daha uygun olmasına karşılık yakıt boyutu büyükse ilave bir parça küçültme işlemi ile bu sorun giderilir Şekil 4.7'de akışkan yatak sistemleri verilmiştir.



Şekil 4.7 Akışkan yatak gazlaştırma sistemleri

Akışkan yatak gazlaştırıcıların özellikleri şu şekilde özetlenebilir (Bridgwater, 1995).

Bubbling akışkan yatak:

- Yakıt seçiminde oldukça toleranslıdır.
- Sabit yataklı sisteme göre parça boyutunda daha toleranslıdır.
- İyi sıcaklık kontrolü ve yüksek reaksiyon oranı.
- Gaz katı temas ve karışımı iyidir.
- Yatakta katalitik proses mümkündür.
- Üretilen gazda orta seviyede katran mevcuttur.
- Sabit yatağa göre üretilen gazda yüksek parçacık miktarı oluşur.
- Karbon kaybı (külün içinde) vardır.
- Kısmi yüklerde çalışabilme kabiliyeti iyidir.
- Sınırlı kapama veya kısma özelliğine sahiptir.
- Kolayca başlatma ve durdurma özelliğine sahiptir.
- Dönüşüm verimi yüksektir.
- Yüksek özgül kapasite.
- Boyut büyütme potansiyeli iyidir.

Circulating akışkan yatak:

- Göreceli olarak basit tasarıma sahiptir.
- Sabit yataklı bir sisteme göre daha büyük parça boyutu toleransı vardır.
- Sıcaklık kontrolü iyi ve reaksiyon oranı yüksektir.
- Yatakta katalitik proses mümkün değildir.
- Üretilen gazda orta seviyede katran mevcuttur.

- Karbon dönüşümü yüksektir.
- Sabit yatağa göre işletme daha zordur.
- Özgül kapasite yüksektir.
- Dönüşüm verimi yüksektir.
- Sınırlı kısma özelliğine sahiptir.
- Çok iyi boyut büyütme kapasitesine sahiptir.

4.3.4. Manyas bölgesi katı hayvan atıklarının gazlaştırma sistemlerinde değerlendirilmesi

Manyas bölgesinden elde edilen küçük, büyük baş ve kanatlı hayvan atıkları çok büyük bir değişiklik göstermektedir. Etlik tavuk için atık miktarı 16-20 ton/gün arasında değişirken bu miktar büyükbaş hayvanda 7-9 ton/gün arasında değişmektedir. 2020 yılı için atık miktarı yaklaşık %25 arttırılmıştır. Hayvansal atıkların özellikleri aşağıdaki Tablo 4.27'de özetlenmiştir.

Tablo 4.27. Manyas bölgesi hayvan atıklarının karakteristik özellikleri

Parametre	nem	ısıl değer	atık miktarı	atık gücü	elektrik dönüşüm gücü	termal güç
	(%)	(kJ/kg)	(ton/gün)	(MW)	(MW)	(MW)
Etlik piliç(altlık+gübre)	26.2	14311	16-20	2.65-3.3	0.66-0.83	1.65-2.07
Büyükbaş hayvan atığı	15.3	15022	7-9	1.22-1.56	0.31-0.39	0.76-0.98

Bir gün 86400 s , Gazlaştırıcı verimi % 25 alınmıştır.

Atık kapasitesi ve yakıt özellikleri (nem ve ısıl değer) göz önüne alındığında gazlaştırıcı için en uygun sistemin sabit yatak gazlaştırıcılar olacağı, elektrik enerjisi üretimi açısından ise birinci öncelikli tercihin sabit yatak "downdraft tip" gazlaştırıcı olacağı görülmektedir. Hayvansal kökenli bu atıklar gazlaştırma sisteminde kullanılabilmesi için belli bir parça boyutu ve şekline getirilmelidir. Bu da ilave bir enerji anlamına gelir. Bu enerjiyi gaz motoru çıkışındaki egzost ısısından almak mümkündür (Olgun, 2001).

4.3.5. Sabit yatak “downdraft gazlaştırıcı” için örnek fizibilite çalışması

Manyas bölgesi hayvan atıklarının elektrik enerjisine dönüştürülmesinde sabit yatak "downdraft" gazlaştırıcı tipi seçilmiştir. Örnek fizibilite çalışmasında gazlaştırıcı kapasitesi 1 MWe alınmıştır.

Tablo 4.28'de downdraft gazlaştırıcılar için geliştirilmiş "elektrik üretim fiyatı" hesaplama örneği verilmiştir [Reed, 1996]. Excel hesaplama tablosu yardımıyla; ekipman fiyatı, toplam kapasite, yıllık faiz, yakıt fiyatı, yakıt üst ısıl değeri ve nemi gibi parametreler verildiğinde gazlaştırıcıda üretilen elektrik enerjisinin fiyatı hesaplanmaktadır. Bu hesaplama yöntemi kullanılarak çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir.

Tablo 4.28. Downdraft gazlaştırıcı için geliştirilmiş örnek hesaplama yöntemi

**DOWNDRAFT TİPTE SABİT YATAK GAZLAŞTIRICI
İÇİN ÖRNEK ELEKTRİK MALİYETİ HESABI****Veriler**

Ekipman fiyatı	\$/kW	1500
Toplam kapasite	kW	1000
Yıllık faiz	%/yıl	7
Çalışma yüzdesi	%	80
Toplam gün	gün/yıl	365
Zaman	saat/gün	24
Yakıt fiyatı	\$/ton	10
Yakıt nem miktarı	%	20
Yakıt ısı değeri	kJ/kg	14500
Gazlaştırıcı verimi	%	25
Özgül yakıt tüketimi	kg/kWh	0.993103448
Yenileme maliyeti	\$/kW	20
Bakım süresi	saat	2000
Saat ücreti	\$/h	5
Ayrılan bakım süresi	h/işçi	0.5
Toplam saat	h/işçi	8
Peryodik bakım süresi	h	200
Yağ ücreti	\$/kW	0.16
Yağ analizi	\$/kW	0.3
Bujiler	\$/kW	0.4
Yedek parça	\$/kW	0.1

Hesaplamalar

Özgül yakıt tüketimi (kg/kWh) = 3600 / (yakıt üst ısı değeri, kJ/kg)*gazlaştırıcı verimi)

C-faiz = (ekipman fiyatı, \$/kg)*(yıllık faiz, %/yıl) / (çalışma yüzdesi, %)(365 gün)*(24 saat))

C-yakıt = (yakıt fiyatı, \$/kg)*(Özgül yakıt tüketimi, kg/kWh)/((1-toplam nem)/100)

C-bakım = (Yenileme maliyeti, \$/kW) / (bakım süresi, h)

C-işçilik = (İşçilik ücreti, \$/h)*(ayrılan bakım süresi, h/işçi) / ((toplam kapasite, kW)*(toplam saat, h/işçi))

C-işletme, \$/kWh = ((Yağ ücreti, \$/kW)+(Yağ analizi, \$/kW)+(Bujiler, \$/kW)+(Yedek parça, \$/kW))/Peryodik bakım,h)

C-faiz	c/kWh	1.498287671
C-yakıt	c/kWh	1.24137931
C-bakım	c/kWh	1
C-işçilik	c/kWh	0.03125
C-işletme	c/kWh	0.48
C-toplam	c/kWh	4.250916982

Şekil 4.8'de yıllık faiz oranının değişiminin (3 farklı özgül kapasitede \$/kWe) elektrik üretim maliyetine etkisi verilmiştir. Kredi için alınacak faiz oranı arttıkça elektrik üretim maliyeti de artacaktır. Burada sabit alınan değerler şekil üzerinde verilmiştir. Şekil 4.9'da yakıtın ısı değeri değişiminin elektrik üretim maliyetine etkisi verilmiştir. Yakıtın ısı değeri arttıkça elektrik üretim maliyeti de düşmektedir. Şekil 4.10'da ise yakıt fiyatının değişiminin elektrik üretim maliyetine etkisi verilmiştir. Yakıt fiyatı (\$/ton) arttıkça elektrik üretim maliyeti de artmaktadır. Hayvansal atıklar çiftliklerden bedava olarak sağlanabilir. Ancak gazlaştırma sistemine getirilmesi ve depolanması esnasında bir maliyet kazanır. Şekil 4.11'de yakıt nem içeriğinin elektrik üretim maliyetine etkisi görülmektedir. Yakıt nem içeriğinin artması ile elektrik üretim maliyeti artmaktadır. Downdraft gazlaştırıcılar %20 neme kadar izin verirler. Yüksek neme sahip atıkların bu gazlaştırıcılarda kullanılması ancak ilave bir kurutma ünitesinde kurutulmaları ile mümkündür. Bu da ilave bir enerji demektir. Gaz motoru veya türbini egzost gazları atık kurutma için kullanılmaktadır. Şekil 4.12'de ise gazlaştırıcı veriminin elektrik üretim maliyetine etkisi görülmektedir. Verim arttıkça elektrik üretim maliyeti de düşmektedir. Şekil 4.13'de ise kurulu kapasiteye bağlı olarak elektrik üretim maliyeti verilmektedir. Kapasite değişiminin elektrik üretim maliyeti üzerine büyük bir etkisi görülmemektedir. Downdraft gazlaştırıcılar 1MWe güce kadar rahatlıkla tasarlanıp imal edilebilirler. Daha yüksek güçler için bir kaç gazlaştırıcı paralel bağlanarak kapasite artırılabilir. Bu da toplam maliyeti artıracaktır.

Bu grafiklerde işletme ve bakım giderlerinin etkisi incelenmemiştir. Genelde bu sistemlerle elektrik 4-6 c/kWh'a mal olmaktadır. Tavuk çiftliklerinde devlet desteği nedeni ile işletmeci elektriği enerji santrallerinden 5.5 c/kWh gibi değerden almaktadır (Normal sanayi satış fiyatı 7-8 c/kWh arasındadır). Üretilen elektriğin mal oluş fiyatı ile tavuk çiftlikleri için kullanılması durumunda kazanç ağırlıklı olarak termal güçten olacaktır. 1000kWe lik bir gazlaştırıcı ile 2.5MWt termal enerji elde edilebildiğini varsayarsak bu durumda geri ödeme süresi şu şekilde hesaplanır:

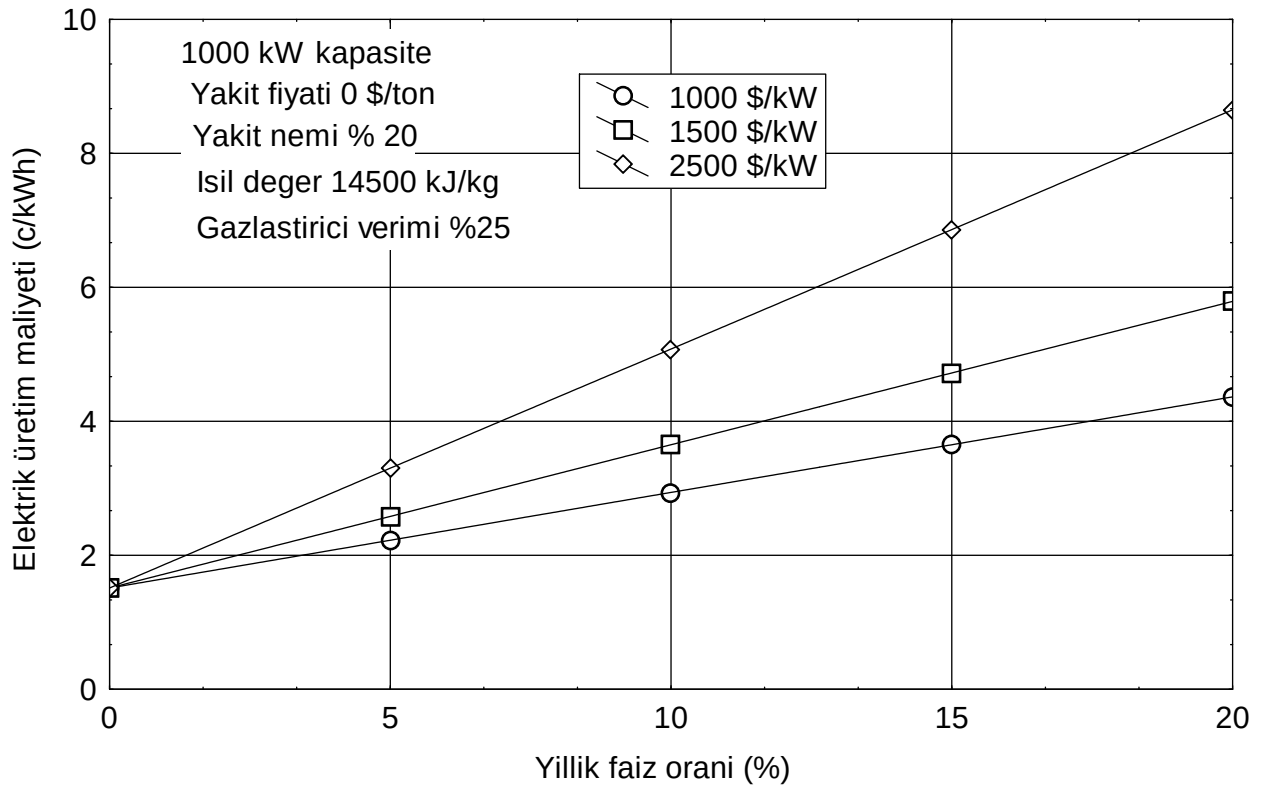
1kg buhar üretmek için 2514kJ/kg ısıya ihtiyaç vardır.

2500 kWt güçten 0.994 kg/s buhar üretilir. Bu da 3580kg/h buhara karşılık gelmektedir.

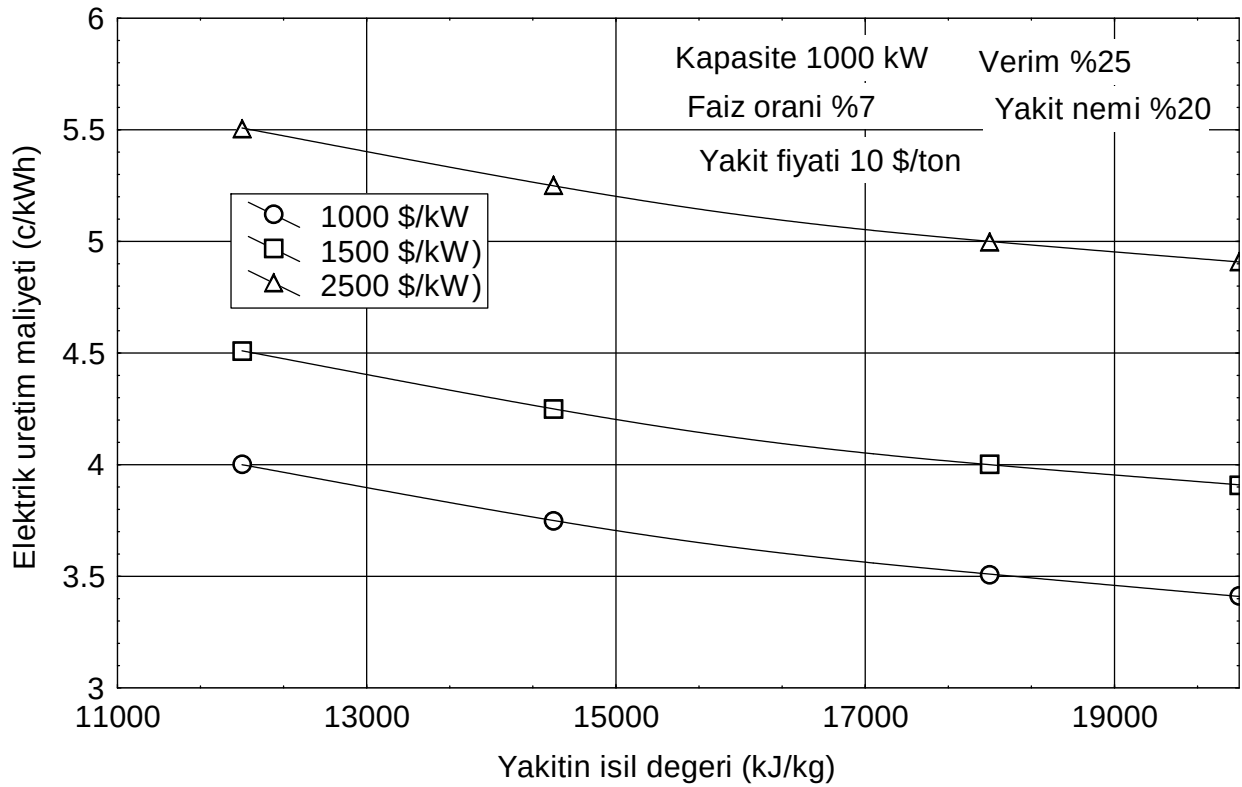
Kazan verimini %85 kabul edersek bu durumda 3,050 ton/h buhar üretilir.

Buharın tonunun 12\$ olması durumunda 36.6 \$/h para kazanılır. Bu yılda 289872\$ eder.

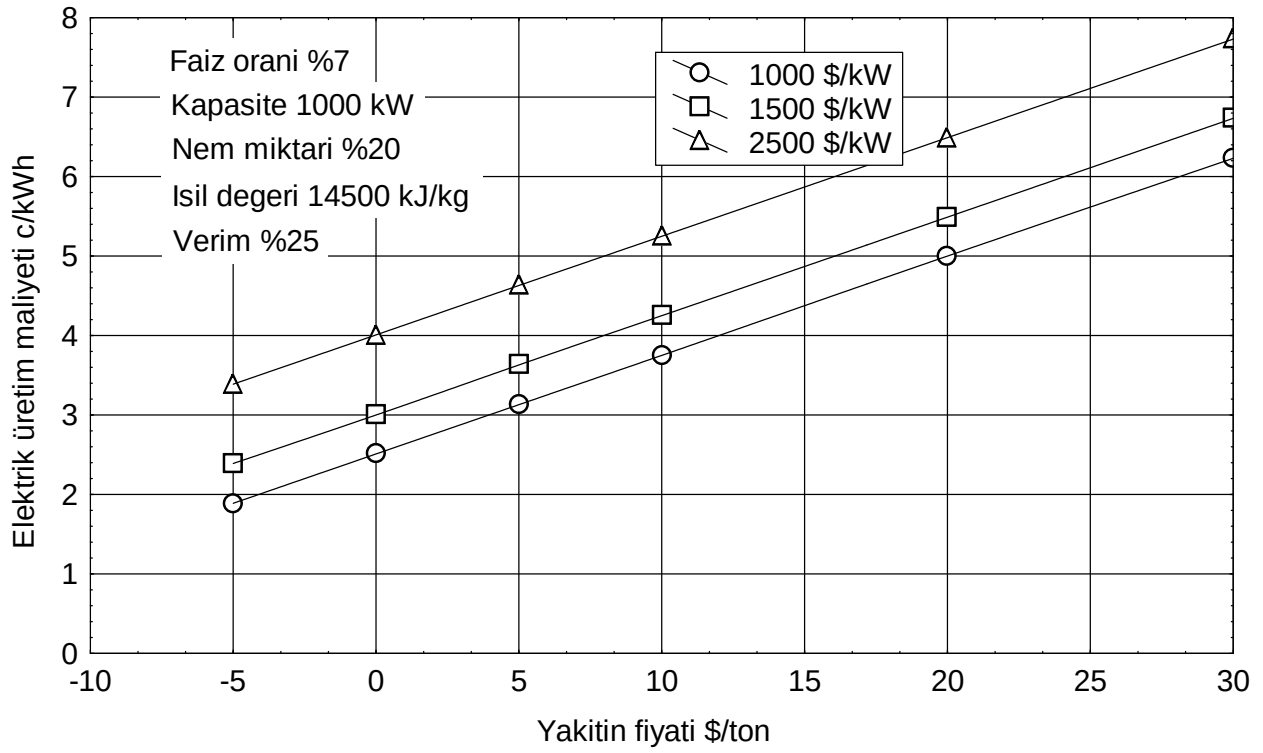
1MWe lik bir sistemin maliyeti 1500000 \$ kabul edilirse basit bir yaklaşımla geri ödeme süresi 5.17 yıl olarak bulunur, 1000000\$ kabul edilirse geri ödeme süresi 3.5 yıla kadar düşer. Elektriğin farklı kurumlara 7.5-8.5 c/kWh arasında satılması durumunda geri ödeme süresi çok daha azalacaktır.



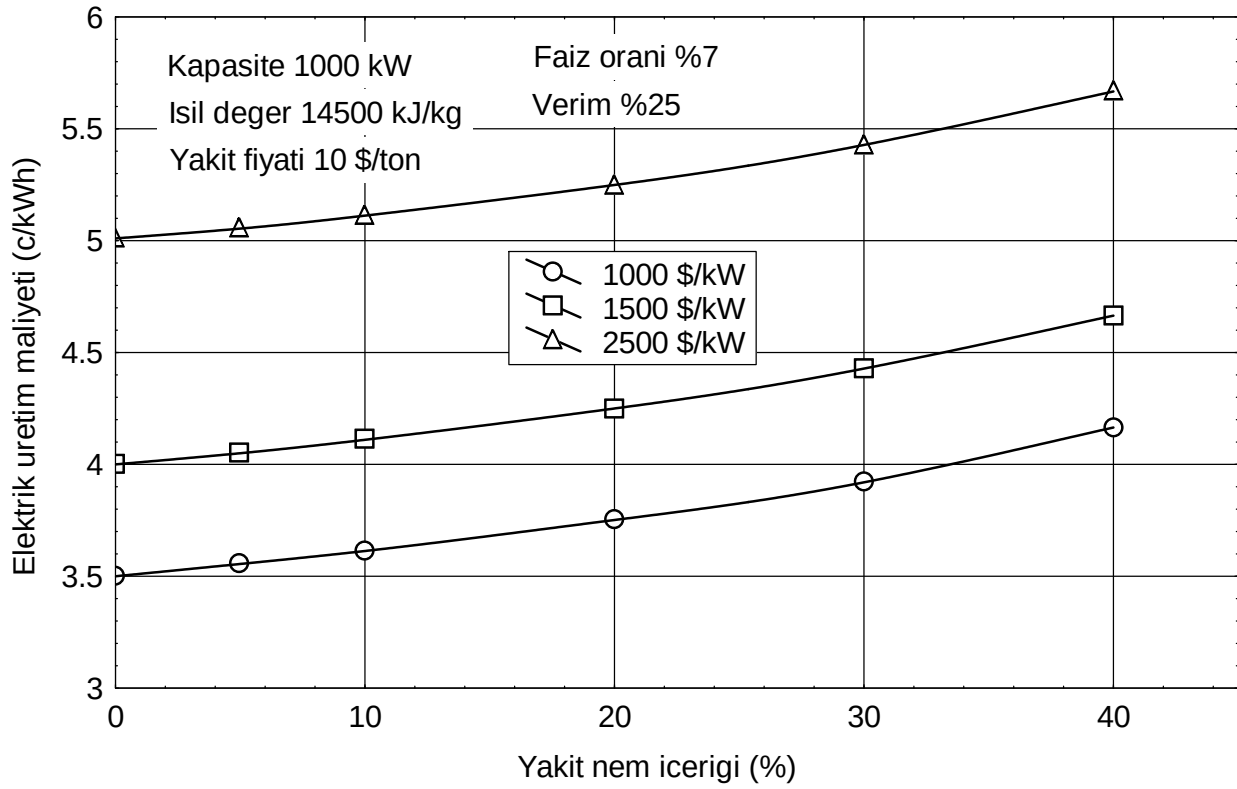
Şekil 4.8. Faiz oranı değişiminin elektrik üretim maliyetine etkisi



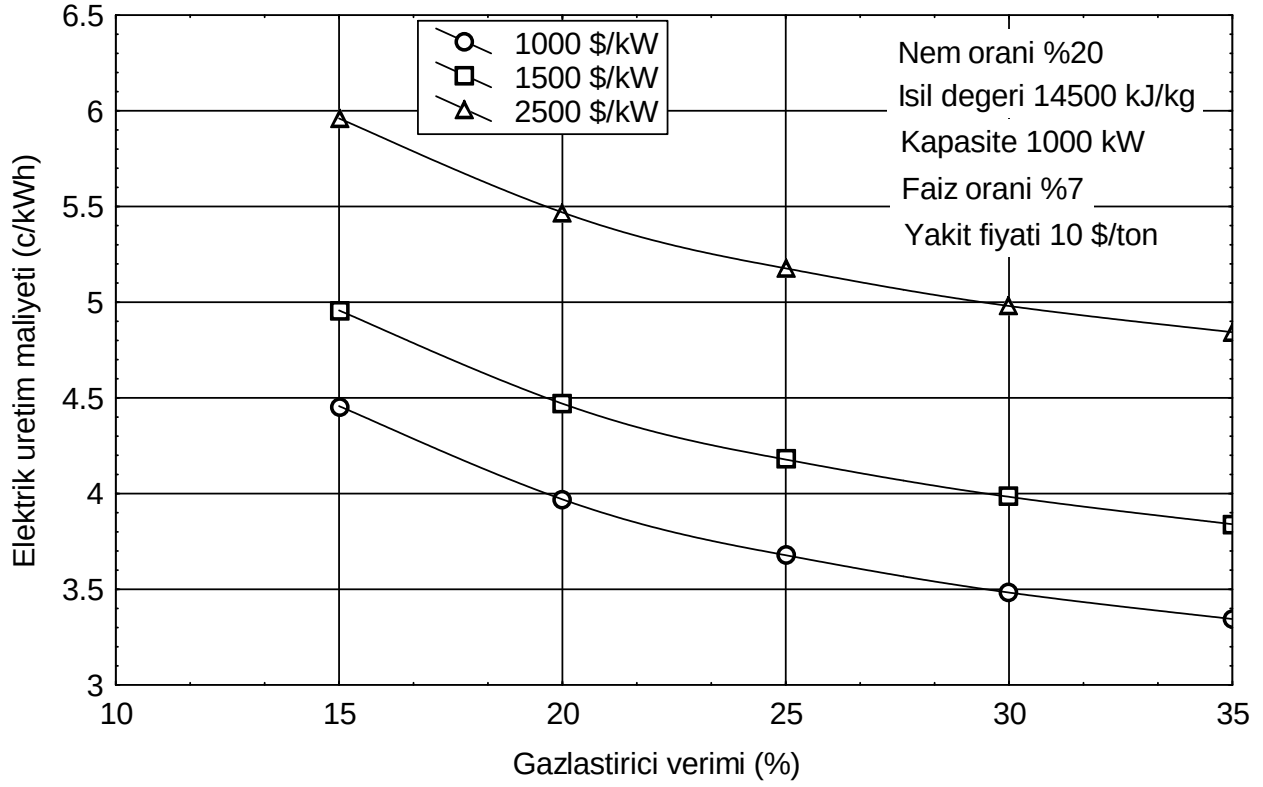
Şekil 4.9. Yakıtın ısı değerinin değişiminin elektrik üretim maliyetine etkisi



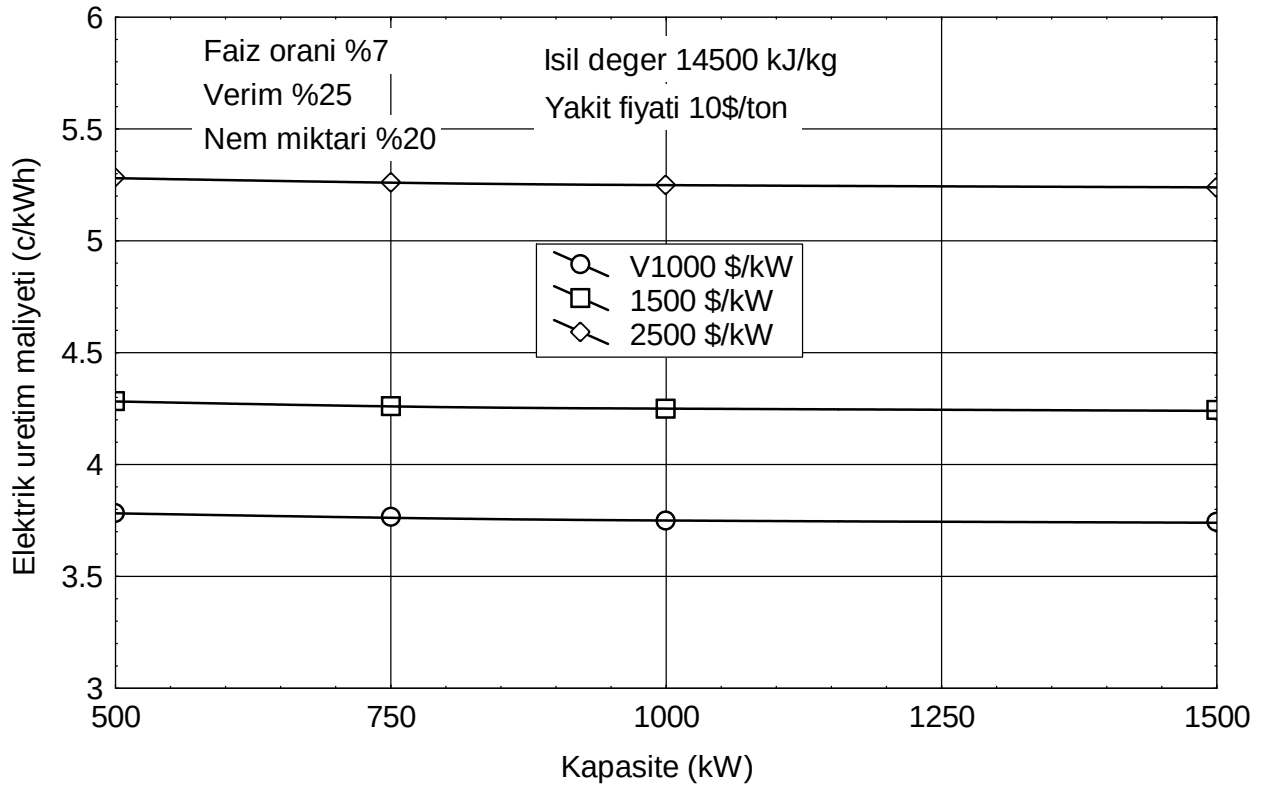
Şekil 4.10. Yakıt fiyatının elektrik üretim maliyetine etkisi



Şekil 4.11. Yakıt nem içeriğinin elektrik üretim maliyetine etkisi



Şekil 4.12. Gazlaştırıcı veriminin elektrik üretim maliyetine etkisi



Şekil 4.13. Kurulu kapasitenin elektrik üretim maliyetine etkisi

4.3.6 Gazlaştırma sistemi için değerlendirme ve sonuçlar

Manyas bölgesindeki küçük, büyükbaş ve kanatlı hayvan çiftliklerinde meydana gelen katı atıkların enerji dönüşüm sistemlerinde kullanılabilmesi için bu fizibilite çalışması yapılmıştır.

Enerji dönüşüm sistemi olarak termokimyasal dönüşüm yöntemlerinden gazlaştırma sistemi seçilmiştir.

Çalışmada gazlaştırma sistemleri kısaca tanıtılmış ve bir gazlaştırıcı için gerekli yakıt özellikleri verilmiştir.

Atık karakteristiği ve enerji ihtiyacı göz önüne alınarak en uygun gazlaştırma sisteminin sabit yatak "downdraft" gazlaştırıcı olacağına karar verilmiştir.

Fizibilite çalışması için bölgedeki atık miktarı göz önüne alınarak 1 MWe gücünde bir kapasite seçilmiştir

Downdraft tipte bir gazlaştırıcı seçilmesi durumunda; gazlaştırıcı verimi ve özgül kapasitenin (\$/kW) gazlaştırıcı açısından, yakıt fiyatı, nem ve ısı değerini ise yakıt açısından son derece önemli parametreler olacağı görülmüştür.

1 MWe elektrik gücündeki bir sistem 2.5MWt termal güç de üretmektedir. Bu güç gaz türbini veya motorunun egzost gazlarının ısısından sağlanmaktadır. Bu atık ısı yakıt kurutmada kullanılabildiği gibi tesisin sıcak su, ısıtma havası ve buhar ihtiyacı için de kullanılabilir. Böylece sistemin toplam verimi % 80'lere kadar çıkartılabilir. Elektrik ve ısı birlikte kullanılması ile bir gazlaştırma tesisini ekonomik olarak çalıştırmak mümkündür.

Atıklar çiftliklerden para alınarak ya da bedava olarak sağlansa bile sistemin bulunduğu yere kadar taşınması ve burada depolanması ile bir maliyeti olacaktır. Bu maliyet ne kadar düşük olursa elektrik o kadar ucuza mal edilmiş olur.

Üretilen elektriğin çiftliklerin dışında teşviksiz elektrik satın alan şirketlere (7-8 c/kWh a elektrik alan) satılması halinde sistemin geri ödeme süresi çok daha düşecektir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışma, Ülkemizde gelişen tarım ve hayvancılık sonucu zaman içinde artan hayvan atıklarından kaynaklanan çevre sorunlarına çözüm üretmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Fosil yakıtların tükenme sürecine girdiği günümüzde hayvan atıklarının enerji potansiyelinden dünya ölçeğinde çeşitli boyutlarda gelişmekte olan ve gelişmiş ülkeler tarafından yararlanılmaktadır. Uygulanan teknolojiler ile hayvan atıklarının çevreye olan etkilerini minimum düzeye indirilirken enerji elde etmek, hayvan atıklarının gübre veya toprak şartlandırma özelliklerinden de yararlanmak mümkün olmaktadır. Hayvan atıklarından bahsedilen şekilde yararlanma günümüzde birçok ülkede sürdürülebilir kalkınmanın vazgeçilmez bir unsuru, bir politikası olarak benimsenmiştir.

Bu çerçevede Ülkemizdeki mevcut hayvan ve hayvan atıkları potansiyeli belirlenmiş, hayvan atıklarının bertaraf ve enerji üretimi uygulama yöntemleri için pilot bölgeler seçilmiş, pilot bölgelerde hayvan atıkları konusunda data toplanmış, örnekleme-analiz çalışmaları yapılmıştır. Data oluşturma, örnekleme ve analiz çalışmalarından elde edilen sonuçlardan yararlanılarak pilot bölgelerde uygulanması öngörülen enerji elde etme ve gübre olarak değerlendirme yöntemleri seçilmiştir. Seçilen yöntemler için pilot bölgelerde fizibilite çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Hayvan atıklarının ekonomik olarak çevreye en az zarar verecek şekilde bertarafı ile enerji elde edilmesi ve gübre/kompost oluşturulması proseslerinden *havasız çürütme*, *kompostlama* ve *gazlaştırma* metodolojileri en geniş kapsamıyla incelenmiş, proses tasarımları ve maliyet analizleri yapılmış, standartlar ve çevre sağlığı açısından değerlendirilmiştir.

Kuşkusuz, bu çalışma çerçevesinde incelenen ve değerlendirilen her prosesin kendine özgü avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Havasız çürütme yöntemi bir proses sürecinin uygulanması ile eşzamanlı olarak önemli ölçüde enerji değeri olan biyogaz elde edilmesi, ve gübre/kompost elde edilmesi ve hatta gerektiğinde sistemden kaynaklanan sıvı atığın tarlalara püskürtülerek gübre amacıyla kullanılması unsurlarını gerçekleştirebilmektedir. Ancak bu yöntemin ilk yatırım giderlerinin kompostlama sistemine oranla daha yüksek olması, sistemin, havasız çürütme prosesinin hassas yapısı, işletme sırasında üretilen gazın yanıcı, patlayıcı özelliği dolayısıyla oluşan riskler dezavantajlar olarak ortaya çıkmaktadır. Kompostlama sistemi gerek işletme gerekse ilk yatırım açısından daha ucuz ve kolay işletilebilir niteliktedir. Ancak, enerji çıktısı bulunmamaktadır. Gazlaştırma sisteminin, bir paket tesis kullanılarak uygulanması, arazi gereksiniminin az olması ve işletme kolaylığı sağlaması avantajlarıdır. Ancak, atığın sisteme verilmeden önce şartlandırılması ve ilk yatırım maliyeti yüksekliği ise dezavantajlar olarak ortaya çıkmaktadır.

Kompostlama sistemi kolay işletilebilirliği, fazla teknik ekipman ve işletme bilgisi, deneyimi gerektirmemesi sebebiyle bireysel olarak çiftlik bazında Ülkemiz koşullarında kurulup işletilebilir niteliktedir. Bu sistem yine ekonomik olarak merkezi kompostlama tesisi şeklinde de uygulanabilir. Merkezi uygulanmalar kompost prosesinin daha kontrollü ve hijyenik koşullarda yapılabilmesini sağladığı gibi üretilen kompostun kalitesinin sürekli sağlanması ve kontrolü imkanını da tanıyacaktır.

Havasız çürütme prosesinin ise çiftlik bazında uygulanması gerek yapım gerekse işletme aşamalarında çok zordur. Genelde Avrupa'daki uygulamalar merkezi tesis şeklindedir.

Hayvan atıklarının bertaraf kriterleri, uluslararası düzeyde uygulama örnekleri ve bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen örnekleme, analiz, tasarım ve fizibilite çalışmaları çerçevesinde aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- Hayvan atıklarının özelliklerine göre uygulanacak olan kompostlama ve havasız çürütme prosesleri enerji ve gübre üretimlerinden elde edilecek gelir kullanılarak ilk yatırım giderlerinin 5-6 yıl süre içinde karşılanması mümkün olmaktadır. Bu süreç sonunda tesisler karlı hale geçebilmektedir. Üretilen enerji ve gübrenin Ülke ekonomisine katkısı olacaktır.
- Aynı şekilde gazlaştırma prosesi için ilk yatırım maliyetinin geri dönüş süresi enerjinin satış maliyetine bağlı olarak 3.5-5 yıl'dır.
- Proseslerin uygulanmasında atık karakteri, teknolojik kriterlerin yanında sistemleri kullanacak ve çıktılarından faydalanan olan bölge halkının katkısı gereklidir. Uygulama sürecine geçilmeden bu sistemlerin verimliliği ve yararları konusunda eğitim faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi projelerin başarısında önemli rol oynayacaktır.

KAYNAKLAR

- Baban, A. “Anaerobic Digestion of Dairy Cow Manure” Master Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 1981.
- Baban, A., Timur, H., Cılız, N., Olgun, H. ve Akgün, F. (2001), Kümes ve Ahır Gübrelerinin Geri Kazanılması ve Bertarafı Projesi Başlangıç Raporu, TÜBİTAK-MAM.
- Ball, A.S., Shah, D., Wheatley, C.F., Assessment of the Potential of a Novel Newspaper/horse manure based compost, *Bioresource Technology*, 73, 163-167, 2000.
- Bernal, M.P., Paredes, C., Sanchez-Monedero, M.A., and Cegarra, Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes *J. Bioresource Technology*, 63, 91-99, 1998.
- Biomass gasification, 2000, technology and utilization,
<http://www.members.tripod.de/cturate.fue.html>
- Braynt, M.P., Microbial Methane Production-Theoretical Aspects, *J. Animal Science*, 48, 193-201, 1979.
- Bridgwater, A.V., The technical and economic feasibility of biomass gasification for power generation, *Fuel*, 74, No 5, 631-653, 1995.
- Craven (1999) Anaerobic Digester at Craven Farms: A Case Study, Rapor, Oregon Dept. of Agriculture, USA.
- Dagnall, S., Hill, J., Pegg, D., Resource Mapping and Analysis of Farm Livestock Manures – Assessing the Opportunities for Biomass-to-Energy Schemes, *Bioresource Technology* 71, 225-234, 2000.
- EPA, “Anaerobic Digestion of Farm and Food Processing Residues”, 1996
- EU DG XI Environment, nuclear and civil protection, “Composting in the EU”, 1997.
- Fry, L.J. and Merrill, R. (1973) Methane digesters for fuel gas and fertilizer, New Alchemy Institute; Santa Cruz, California.
- Garcia-Ochoa, F., Santos V. E., Naval, L., Guardiola, E., Lopez, B., Kinetic Model for Anerobic Digestion of Livestock Manure, *Enzyme and Microbial Technology* 25, 55-60, 1999.
- Georgakakis, D. Krintas, Th., Optimal Use of the Hosoya System in Composting Poultry Manure, *Bioresource Technology*, 72, 227-233, 2000.

- Gotaas, H. B. (1956) Composting, World Health Organisation, Geneva, Switzerland.
- Guerra-Rodriguez, E., Vazquez, M., Diaz-Ravina, M., Co-composting of barley wastes and solid poultry manure. *Bioresource Technology*, 75, 223-225, 2000.
- Guyer, W. ve Zehnder, A., J., B., Conversion Processes in Anaerobic Digestion, *Wat. Sci. Technol.*, 15, 127-67, 1983.
- Hammad, M., Badarneh, D. ve Tahboub, K. (1999) Evaluating variable organic waste to produce methane, *Energy Conversion and Management*, 40, 1463-1475.
- Hart, S. A., The Management of Livestock Wastes, *Journal of the Water Pollution Control Federation* 3(2), 78-80, 1960.
- Hashimoto, A.G. (1983) Conversion of straw-manure mixtures to methane at mesophilic and thermophilic temperatures, *Biotechnol. Bioeng.* 25, 185-200.
- Hobson, P.N., Reid, W.G., Sharma, V.K., Anaerobic Conversion of Agricultural Wastes to Chemicals or Gases, Aberdeen, Scotland: Rowett Research Institute, Bucksburn, 1984.
- Jeffrey, E. A., Blackman, E.C., ve Ricketts, R.L., Aerobic and Anaerobic Digestion Characteristics of Livestock Wastes, Engineering Series Bulletin, No.57, University of Missouri, Columbia, 1963.
- Loehr, R.C. ve Agnew, R.W., Cattle Wastes-Pollution and Potential Treatment, *ASCE Journal of the Sanitary Engineering Division*, 93(SA4), 55-72, 1967.
- Maeng, H., Lund, H., Hvelplund, F., Biogas Plants in Denmark: Technological and Economic Developments, *Applied Energy*, 64,195-206, 1999.
- McCarty, P.L., Anaerobic Waste Treatment Fundamentals, *Public Works*, 95, 9-12, 1964.
- McCarty, P.L., Bioassay for Monitoring Biochemical Methane Potential Anaerobic Toxicity, *Wat. Res.*, 13, 485-92, 1979.
- Moore, J. A., Managing Livestock to Control Pollution, Effects and Control, Water Resources Research Center, University of Minnesota Bulletin, 13 Minn., 1969.
- NAS, National Academy of Sciences (1977) Methane generation from human, animal and agricultural wastes, Report of the Advisory Committee on technology innovation, National Research Council, Washington D.C.
- Olgun, H., Çoban, T., Tırıs, M., 2001, "Biyokütle ve diğer organik atıkların kojenerasyon sistemlerinde enerji yakıtı olarak kullanılması", 7. Uluslararası Kojenerasyon ve Çevre Konferansı ve Sergisi, İstanbul.

- Olgun, H., Dogru, M., Howarth, C.R., 1999, "Katı atıkların enerji dönüşümünde kullanılması ve gazlaştırıcılar",
- Reed, T.B., Das, A., 1996, Handbook of biomass downdraft gasifier engine systems, The Biomass Energy Foundation Press.
- Rensfelt, E.K.W., 1999, "Atmospheric CFB gasification, The Greve Plant and Beeyond" International Conference on Gasification and Pyrolysis of Biomass, Stuttgart.
- Sanders, F.A. ve Bloodgood, D.E. (1965) The effect of nitrogen to carbon ratio on anaerobic decomposition. J. Wat. Poll. Cont. Fed. 1741, 37.
- Tainganides, E. P., and Hazen , T.E., Properties of Farm Animal Excreta, *Transactions, American Society of Agricultural Engineers*, 9(3), 374-376, 1966.
- Tekin A.R. ve Dalgıç, A.C. (2000) "Biogas Production from Olive Pomace" Res. Cons. and Recy. 30, 301-313.
- Tilche, A. ve Vieira, S.M.M. (1991) "Discussion report on Reactor Design of Anaerobic Filters and Sludge Bed Reactors" Wat.Sci.Tech., 24,8.
- Tiquia, S.M., Wan, J.H.C., Tam, N.F.Y. Extracellular Enzyme Profiles During co-Composting of Poultry Manure and Yard Trimmings, *Process Biochemistry*, 36, 813-820, 2001.
- Topkaya, B. Kompost, Kimya Mühendisliği Odası – Kurs Notları, İstanbul, 2001.
- Townshend, A.R., Reichart, K.A. ve Nodwell, J.H., Status Report on Water Pollution Control Facilities for Farm Wastes in the Province of Ontario, Proc. of Cornell University Conference on Agricultural Waste Management, Syracuse, N.Y., 1969.
- Velioğlu, G., Curi, K., Baban, A., Alpaslan N., Improvement in Biodegradability in Anaerobic Digestion of Dairy Cow Manure Appropriate Waste Management for Developing Countries, Proc. of the First International Symposium for Developing Countries, Boğazici Üniversitesi, 82. Plenum Press, New York 1985.
- Vollenweider, R.A., Scientific Fundamentals of the Eutrophication of Lakes and Flowing Waters, with Particular Reference to Nitrogen and Phosphorus as Factors in Eutrophication, Report to the Organization of Economic Cooperation and Development, Paris France, DAS/CSI/68, 1968.
- Vuorinen, A.H., Saharinen, M.H., Evolution of Microbiological and Chemical Parameters During Manure and Straw Co-composting in a Drum Composting System. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 66, 19-29, 1997.
- Walford (2000) Good Practice Guidelines-Anaerobic Digestion of farm and food processing residues, Rapor, Walford College, İngiltere.
- Water Pollution Research Report, Dept. of Scientific and Industrial Research, London, HMSO, 73-77, 1964.

Witzel, S.A., Physical, Chemical and Bacteriological Properties of Farm Wastes (Bovine Animals), Proc. of National Symposium on Animal Waste Management, SP-0366, 1966.

Young J. (1991) "Factors affecting the design and performance of upflow anaerobic filters" Wat.Sci.Tech., 24,8.