



Management of Agricultural Wastes in Rural Areas and Investigation of Reduction Potential of Greenhouse Gas Emissions via Renewable Biomass Energy Technologies

Çağdaş Gönen

Department of Environmental Engineering, Engineering Faculty, Niğde Ömer Halisdemir University, 51240 Niğde, Turkey
E-mail: cagdas.gonen@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8554-8125>

ARTICLE INFO

Research Article

Received : 05/11/2018
Accepted : 26/11/2018

Keywords:

Agricultural waste management
Renewable energy
Biomass energy
Greenhouse gas emission
Feasibility

ABSTRACT

Nowadays, “energy production” and “global climate change and mitigation”, which are in direct relation with each other, are the most important environmental problems waiting for a solution. Renewable and sustainable energy sources provide the most appropriate alternatives for the solution of this problem. In Turkey, one of the important raw material potential of renewable and sustainable energy sources is “Biomass energy”; it is used in biogas production, biofuel production such as biodiesel, bioethanol, biobutanol and gasification-burning technology. In this study; the potential for agricultural wastes derived from agricultural activities and domestic wastes from Çukurkuyu town of Niğde where the main economic source are agriculture and livestock, were calculated by using incineration technology, which is one of the methods of production of renewable electric energy. In this study, a feasibility study was carried out for the production of renewable electricity from the wastes generated in the town and the potential of renewable electricity generation was determined by the obtained data. Moreover, in this study, fossil fuel balance of the electricity produced from biomass was determined and potential for greenhouse gas emission reduction was determined. Thus, as an alternative to fossil fuels, energy production from renewable sources has been determined both in agricultural waste management.

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi 7(1): 142-147, 2019

Kırsal Bölgelerde Tarımsal Atıkların Kontrolü ve Yenilenebilir Biyokütle Enerji Teknolojileri İle Sera Gazı Emisyonlarının Azaltım Potansiyelinin İncelenmesi

MAKALE BİLGİSİ

Araştırma Makalesi

Geliş : 05/11/2018
Kabul : 26/11/2018

Anahtar Kelimeler:

Tarımsal atık yönetimi
Yenilenebilir enerji
Biyokütle enerjisi
Sera gazı emisyonu
Fizibilite

ÖZ

Günümüzde birbiriyle doğrudan ilişkisi olan “enerji üretimi” ve “küresel iklim değişikliği ile mücadele” çözüm bekleyen en önemli çevresel problemlerin başında gelmektedir. Yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynakları bu problemin çözümü için en uygun alternatifleri sunmaktadır. Türkiye’de önemli bir hammadde potansiyeli olan yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarından “Biyokütle enerjisi”; biyogazdan elektrik üretiminde, biyodizel, biyoetanol, biyobütanol gibi biyoyakıt üretiminde ve gazifikasyon-yakma teknolojilerinden elektrik üretimi gibi teknolojilerde kullanılmaktadır. Bu çalışmada; başlıca ekonomik kaynağı tarım ve hayvancılık olan Niğde’nin Çukurkuyu beldesinde tarımsal faaliyetlerden oluşan tarımsal atıkların yenilenebilir elektrik enerjisi üretim yöntemlerinden biri olan yakma teknolojisi ile değerlendirilmesi hesaplanmıştır. Çalışmada beldede oluşan atıklardan yenilenebilir elektrik enerjisi üretimi için fizibilite çalışması yapılmış ve elde edilen verilerle yenilenebilir elektrik üretim potansiyeli belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada hammadden üretilen elektrik enerjisinin fosil yakıt dengliği belirlenerek sera gazı emisyonu azaltım potansiyeli ortaya konmuştur. Böylelikle hem tarımsal atık yönetimi yapılırken hem de fosil yakıtlara alternatif olarak yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi belirlenmiştir.



Giriş

Enerji

Enerji talebi ve bu talebin sürdürülebilir, güvenli ve çevre dostu yöntemlerle sağlanabilmesi hem dünyada hem de Türkiye’de öncelikli sırada yer almaktadır. Bunun başlıca sebebi; kalkınmanın ve gelişmenin temeli olan ekonominin bağlı olduğu endüstriyel üretimdeki enerji ihtiyacıdır. Ülke kalkınmasının devamlı olabilmesi için endüstrinin gelişmesi ve ticaretin büyümesi gereklidir. Bu sebeple enerjinin üretimi ve temininin güvenli yollarla (yerel kaynaklardan) ve doğa dostu yöntemlerle (nötr sera gazı emisyonu) kesintisiz olarak yapılabilmesi şarttır. Dünyada gelişmekte olan ve büyüyen ekonomiye sahip ülkeler uluslararası piyasada rekabet edebilmek için artan şekilde enerjiye talep göstermektedirler (Koç, 2010; Yıldız 2016).

Talep edilen enerjinin doğa dostu ve sürdürülebilir olmasının yanında enerjinin güvenliği de önemlidir. Enerji güvenliği; enerji kaynaklarının sürekliliği, erişilebilirliği, enerjinin kullanılabilir forma getirilebilmesi, üretilen enerjinin pazarlanması ve dağıtımını olarak tanımlanabilir. Dünyada bu durum stratejik öneme sahip olup, enerjinin kalkınma için yeterli miktarda bulunabilmesi, elde edilebilmesi, dönüştürülebilmesi, iletilmesi ve pazarlanması gerekmektedir (Ayhan, 2008; Çelikkpala, 2014; Önk, 2010).

Enerji İhtiyacı İle İklim Değişikliği

2015 yılında düzenlenen Birleşmiş Milletler Hükümetler Arası İklim Değişikliği Panelinde (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC) alınan karar “İklim sistemi üzerindeki insan etkisinin çok açık olduğu ve son yıllardaki antropojenik sera gazı emisyonlarının tarihteki en yüksek seviyelerine ulaştığı” şeklindedir. Buna ilave olarak iklim değişikliğinin yaygın bir şekilde hem insanlar hem de ekosistem üzerinde etkisi olduğu vurgulanmıştır. 2015 yılında düzenlenen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı (COP 21 Paris) bildirgesini göre “ortalama küresel ısınmanın 2°C altında kalması için Uluslararası önlem planlarının bir an önce gündeme alınması ve uygulanması kararı” alınmıştır. IPCC-2015 de yapılan önemli vurgu ise “önümüzdeki yüzyılda ortalama sıcaklığının 1 ila 5°C arasında artmasının beklendiği” üzerine bir karardır. Bu karara göre, ortalama sıcaklığı 2°C derece düşürmek için 2050 yılından önce salınan CO₂ emisyonlarının %60 ila 80 kadar azaltılması gerekmektedir (Tamzok, 2015; Arıkan 2006; ROCKWOOL, 2017).

Sanayi devrimi sonrasında elektrik enerjisi üretimi ve ulaşım için fosil yakıtların tüketimi bir sera gazı olan karbondioksitin (CO₂) yoğun şekilde atmosfere salınmasına sebep olmuştur. Atmosferdeki olması gerekenden fazla miktardaki CO₂’in yeryüzüne güneşten gelen enerjinin atmosfer tabakasında daha çok tutulmasına sebep olması küresel ısınmaya ve buna bağlı olarak iklim değişikliğine neden olmaktadır. N₂O, CH₄ ve flor gibi diğer sera gazları ise CO₂ ile beraber küresel ısınma etkisini arttırmaktadır. Küresel ısınma, buna bağlı olarak iklim koşullarının değişmesi ile tarım, gıda temini ve temiz su temini açısından geri dönülmez zararlara neden olmakta ve olmaya devam etmektedir (Parajuli ve ark., 2019).

Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Kaynakları

Dünyadaki ve buna paralel olarak Türkiye’deki enerji talebi nüfus artışı ile birlikte katlanarak artmaktadır. Bunun yanında gelişen endüstriyel faaliyetler nedeniyle tüketilen enerji her geçen gün artış göstermektedir. Türkiye’nin de içinde bulunduğu dünya ülkelerinde enerji talebini karşılamak için kullanılan başlıca enerji kaynakları fosil türevi yakıtlar olan doğal gaz (DG) ve kömürdür. Özellikle petrolün iktisadi alanda bir mal ve ürün haline gelmesi ile uluslararası rekabet de sürekli olarak ülkelerin stratejilerinde yer almak zorunda kalmıştır. Sürdürülebilirliği olmayan ve tüketilmesi ile sera gazı emisyonlarının artmasına neden olan fosil türevi petrolün iklim değişikliği ile mücadele için kontrol altına alınması ve emisyonların azaltılması için alternatif kaynakların bulunması şarttır (Kahraman, 2014).

Kömür enerji üretiminde kullanılan fosil yakıtlarının başında gelmektedir. Kömürün üretimi ve tüketimi kolaylığı nedeniyle dünyada ve ülkemizde de yaygın olarak tercih edilmekte ve günümüzde dünya enerji talebinin %30’u kömür kaynaklarından sağlanmaktadır. Kömür elverişli bir fosil yakıt olmasına rağmen üretiminde, taşınmasında ve tüketimi sırasında neden olduğu yoğun hava kirliliği, yarattığı karbondioksitli emisyonları, küresel ısınma ve limitli bir kaynak olması nedenleriyle bazı olumsuz yönleri sahiptir (Arif ve ark., 2018).

Fosil türevi yakıtlar arasında kömür ve akaryakıt gibi petrol türevi yakıtlara alternatif olan DG son yıllarda dünyada en yaygın olarak kullanılan yakıt türüdür. Bu gaz, havadan hafiftir ve %90 üzerinde metan gazı içermektedir. Genellikle boru hatları ya da kamyonlarla taşınarak tüketileceği noktaya iletilir. Enerji üretimi için doğalgaz kullanıldığında yanma ürünü olarak açığa çıkan CO₂ ve diğer gazlar sera etkisini artırarak küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine sebep olmaktadır (Akpınar ve Başbüyük, 2011).

Alternatif Enerji Kaynakları

Günümüzde dünya, özellikle iklim değişikliği ile mücadele ve iklim değişikliği etkilerinin azaltılması için alternatif sürdürülebilir enerji kaynaklarına doğru hızla yönelmektedir. Küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine neden olan sera gazı emisyonlarının temel kaynağı günümüzde fosil türevli yakıtlardır. Bu kaynakların sınırlı ve tükenbilir olmasının yanında enerji güvenliği de gün geçtikçe sınırlanmaktadır (Gezer, 2013). Bu nedenle dünya son yıllarda yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelmekte ve çalışmalar devam etmektedir. En geleneksel olarak bilinen hidroelektrik santralleridir, daha sonra sırasıyla rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, biyokütle enerjisi ve teknolojisi diğerleri kadar hızlı gelişmeyen ve yaygın olarak bulunmayan jeotermal enerji gelmektedir.

Günümüzde hem dünyada hem de ülkemizde büyük bir paya sahip olan yenilenebilir enerji türü, hidroelektrik santralleridir. Dünyadaki hidroelektrik gücünün ekonomik olarak işlenebilir potansiyelinin 1/3 ile dünyadaki elektrik üretiminin yaklaşık %17’si karşılanabilecektir. Diğer bir yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş ise son yıllarda en çok araştırma konusu olmuş ve panellerin enerji dönüşüm verimlilikleri yapılan çalışmalarla artmıştır.

Elektrik üretiminin dalgalı ve kesik olmasına rağmen güneş panelleri sadece güneş ışığını kullanarak enerji üretiminde herhangi bir sera gazı salınımına neden olmadığı için hem sürdürülebilir hem de doğa dostu olarak kabul edilmektedir (Akpınar ve Başbüyük, 2011). Günümüzde tüm dünya genelinde kullanılan diğer bir yenilenebilir enerji kaynağı ise rüzgârdır. Atmosfer içerisinde sıcaklık-basınç ve yoğunluk farkı gibi doğal olaylar sonucunda oluşan rüzgâr kullanılarak türbinlerde elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Rüzgâr Enerjisi santralleri herhangi bir sera gazı emisyonu yaymadıkları gibi, hem çevreye dost hem de insan sağlığına uyumludurlar. Yeterli rüzgâr kapasitesi olan coğrafi bölgelerde kurulumu ve işletme maliyetleri yüksek olmadığı için tercih edilmektedirler. Ayrıca kuruldukları arazilerde türbinin alan (%1) küçük orana sahip olduğu için arazi farklı amaçlarla kullanılabilir (D.E.K.T.M, 2012; Arı, 2007).

Dünya'da yaygın olan ve Türkiye'de de yaygınlaşmaya başlayan yenilenebilir enerji kaynağının diğer bir türü de biyokütle enerjisidir. Biyokütle enerjisi temel olarak fotosentez yapan bitkilerin güneşten aldıkları enerjiyi kendi bünyelerinde biriktirmesi ile olur. Biriken bu enerji farklı yöntemlerle ısı veya elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Biyokütleyi tarımsal atıklar, enerji bitkileri, evsel ve belediye atıkları, organik atıklar, ahşap endüstri atıkları, orman bitkileri ve sucul bitki ve algler oluşturmaktadır. Tarımsal atıklar, orman ve ahşap endüstrisi atıkları ve bazen evsel atıkların direk olarak yakılması birinci nesil biyokütle enerjisi olarak tanımlanmaktadır. Tarımsal atıklar, enerji bitkileri ve evsel atıkların biyolojik yöntemlerle alkollere (etanol veya bütanol) ve Biodizel gibi enerji ürünlerine dönüştürülmesi ikinci nesil biyokütle enerjisi olarak tanımlanır. Üçüncü nesil biyokütle ise, alglerin yetiştirilmesi ve kullanılması ile elde edilen enerji türü olarak tanımlanmaktadır (Pandiyar ve ark., 2019).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından atık yakma teknolojisi, atığın oksijenli ortamda termal reaksiyona uğrayarak parçalanması ve açığa çıkan enerjinin kullanılmasıdır. Bu teknolojinin temel amacı ise, atığın hacminin yakılarak azaltılması ve tehlikesinin giderilerek atığın bertaraf edilmesidir. Bu teknoloji kullanılarak enerjinin geri kazanılmasında en önemli faktöre kalorifik değerdir. Günümüzde bazı sanayi ülkelerinde ortaya çıkan atığın kalorifik değeri yaklaşık olarak linyit kömürünün kalorifik değerine eşittir. Bu da atığın enerji kaynağı olabileceğini göstermektedir (Chen ve ark., 2019).

Birinci nesil termal işlemlerinden birisi de Pirolizdir. Bu işlemde bilinen oksidasyon aksine biyokütle oksijen yokluğunda termal olarak parçalanmaktadır. Reaksiyon ürünleri olarak Piroliz yağı ve bazı gazlar oluşurken kalıntı olarak da kül oluşmaktadır. Termal reaksiyon koşulları ise 450°C ile 600°C arasında gerçekleşmektedir. Bir adım daha gelişmiş olan termal işlem ise plazma gazifikasyondur. Plazma gazifikasyonda oksijen yokluğuna gerçekleşir ancak 1.500 ile 5.000°C arasında çok yüksek sıcaklıklarda termal işlem gerçekleşmektedir. Bu sıcaklıkta biyokütle hidrojen ve oksijen atomlarına kadar hızlı bir şekilde ayrılmaktadır ve hızla yeniden kararlı moleküller oluşmaktadır. Tüm termal parçalanma işlemlerinde net reaksiyon enerjisi pozitifdir (Aynur, 2011; Dereli, 2012; Rajasekhara ve ark., 2015).

Petrol türevi yakıtların kullanıldığı teknolojiler yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı teknolojilerle karşılaştırıldığında; kısa vadede termik santraller (biyokütle + kömür), biyokütleden elektrik enerjisi elde edilmesinde en düşük maliyetli çözüm olarak sunulur (yatırım maliyeti: 50-250 \$/KW; elektrik üretim maliyeti: 2 Cent/KWh). Ancak biyokütle enerji santrallerinin küçük ölçekli üretim kapasitelerinden dolayı ilk yatırım maliyeti yüksektir (yatırım maliyeti: 1.500-3.000 \$/KW; elektrik üretim maliyeti: 4-9 Cent/KWh). Yeni nesil olarak tanımlanan gazlaştırma yöntemiyle çalışan birleşik ısı-güç santralleri ise, yatırım ve işletim maliyetleri nedeniyle araştırma aşamasında kalmış olup uygulanabilirliğe henüz erişilememiştir (yatırım maliyeti: 4.000-7.000 \$/KW; elektrik üretim maliyeti: 1.013 Cent/KWh) (Bayramoğlu, 2013; Çubuk ve Heperkan, 2000; IEA, 2007; Acaroğlu 2003).

Türkiye tarımsal üretim konusunda zengin bir altyapıya ve çeşitliliğe sahiptir. Çalışma için seçilen Niğde ili Türkiye'nin önemli elma üretim merkezlerindedir ve 10 bin 968 dekar alandan yıllık yaklaşık 8 bin ton ürün elde edilmektedir. Niğde'de 2 bin 600 çiftçiyle yılda yaklaşık 10 bin ton kiraz üretimi yapılmaktadır. Niğde'de elma ve kirazın yıllık tarımsal hasılatı 450 ila 500 milyon TL'dir.

Yapılan bu çalışmada Niğde İli Bor İlçesi Çukurkuyu Beldesinde atık yakma teknolojisi ile beldenin ihtiyaç duyduğu enerji miktarının karşılanabilirliği ve buna bağlı olarak sera gazı emisyonlarındaki azaltım seviyeleri incelenmiştir. Bunun için hane sayılarının belirlenmesi, hane başına tüketilen ve ihtiyaç duyulan enerji miktarının belirlenmesi, kullanılacak mevcut teknolojinin belirlenmesi, kullanılacak elverişli biyokütle hammadde miktarlarının hesaplanması ve tüketilen enerji miktarı belirlememesinin ardından sera gazı emisyonları salınımindaki azaltım incelenmiştir.

Çukurkuyu Beldesi Mevcut Durum Tanımlanması

Çukurkuyu beldesi Niğde'nin Bor ilçesine bağlı bir yerleşim yeridir. Bahçelievler Mahallesi, Bektik Mahallesi, Cami Mahallesi, Zafer Mahallesi ve Türkmen yurdu Mahallesi olmak üzere 5 mahalleye sahiptir. Belde Niğde il merkezine 40 km, Bor ilçe merkezine 25 km, Altınhisar ilçe merkezine ise 16 km uzaklıktadır.

Yapılan imar ve yerleşim planlarına göre Çukurkuyu Beldesinde toplamda 73.000 dönüm tarla arazisi, 111.000 dönüm mera arazisi, 9.800.000 dönüm hazine arazisi ve 5.000 dönüm sit alanı olduğu belirlenmiştir (Tablo 1). Yerleşim yeri olarak gelişmekte olan bölge niteliğine sahip olan beldenin geçim kaynağı tarım ve hayvancılığa dayalıdır. Bodur ve yarı bodur elma ağaçlarının içinde bulunduğu modern işletmeler 7 bin dönüm arazi üzerinde kuruludur. Bu işletmelerden dönüm başına bodur elma getirisi 4 ila 5 tondur. Beldede yetiştirilen 42 dönümlük bahçeden 93 ton ürün elde edilmektedir. Çukurkuyu'da 1.350 dönüm kavun ekimi yapılmaktadır, 8 ton/yıl ürün elde edilmektedir. Genelde 500 dönüm karpuz ekiminden 10 ton ürün, 1.100 dönüm domates ve biber ekiminden 15 ton ürün alınmaktadır. Çukurkuyu'da yetiştirilen ürünlerden (elma, kavun, domates, karpuz, mısır) çıkan atık miktarları Tablo 2'de verilmiştir.

Beldede büyükbaş hayvancılık ön planda bulunmaktadır. Beldede hayvancılıkla ilgili özel şirket bulunmamaktadır. Hayvanların bakım ve ihtiyaçları

hayvan sahipleri tarafından yapılmakta olup, toplam 7.500 büyükbaş 15.000 küçükbaş hayvan bulunmaktadır. Bu hayvanlardan kaynaklı çıkan atık miktarı ortalama 30kg/gün.hayvan olup, üretilen atıklar belde de gübre olarak kullanılmaktadır.

Tablo 1 Çukurkuyu beldesi arazi sınıfları ve arazi büyüklükleri

Table 1 Land patter and size for the Çukurkuyu town

Arazi Sınıfları	Arazi Büyüklükleri
Tarla Arazisi	73.000 Dönüm
Mera Arazisi	111.000 Dönüm
Hazine Arazisi	9.800.000 Dönüm
Sit Alanı	5.000 Dönüm

Tablo 2 Beldede açığa çıkan atık türleri ve miktarları

Table 2 Sort and amount of waste comes from town

Ürün	Dekar/yıl	Ton/yıl.atık
Kavun & Karpuz	6.000	21.000
Domates	5.000	10.000
Şeker Pancarı	1.200	1.200
Mısır	1.000	250
Toplam	13.200	32.450

Bulgular

Hammadde ve Tesis Kapasite Hesapları

Çukurkuyu beldesinde oluşan tarımsal ve hayvansal atık konumunda olan biyokütle hammadde olarak kullanılması, yönetimi ve bununla birlikte sürdürülebilir enerji elde edilmesi amaçlanmaktadır. Biyokütle birinci nesil yenilenebilir enerji kaynağı olan yakma teknolojisi ile enerjiye dönüştürüle potansiyeli ve atık yönetimi alternatifleri belirlenmiştir. Kırsal yerleşim yerlerinde planlanan yatırımlarda yakma teknolojisi gibi teknolojilerin ekonomik seçeneklerden olduğu bilinmektedir. Bunun için Kırsal alan olarak seçilen Çukurkuyu beldesindeki organik içerikli tarımsal ve hayvansal atıkların temel olarak alındığı enerji potansiyeli hesabı yapılmıştır. Potansiyel hesabında kullanılan veriler; 7.500 adet büyükbaş hayvandan kaynaklı 82.125.000 kg atık/yıl (30 kg atık gübre/hayvan/gün) ve 32.450 ton /yıl tarımsal atıktır (Tablo 3).

Tablo 3 Beldede oluşan atıkların kaynaklarına göre yıllık atık miktarları

Table 3 Annual waste amount according to waste source for town

Atık türü	Yıllık miktarı (ton)
Hayvansal atıklar	82.125
Tarımsal atık	32.450
Toplam	114.575

Çalışmada kullanılacak verilerde atıkların fiziki olarak toplanma ve kullanılabilme oranları da önem arz etmektedir. Hayvanlardan kaynaklı gübreler tamamına yakın kısmı toplanabilirken, tarımsal atıkların bir kısmı alınamayarak tarlada kalmaktadır. Bu nedenle beldeden kaynaklı atıkların %60'lık kısmının toplanabildiği yapılan hesaplarda göz önüne alınmıştır. Buna göre toplamda 68.745 ton/yıl atık temin edileceği varsayılmıştır. Kurulacak tesisinin yaklaşık kapasitesi Tablo 4'de mevcut

yakma tesislerinin kurulu güç kapasiteleri ve yıllık atık kapasiteleri karşılıklı olarak kıyaslanarak belirlenmiştir. Tablo 4'e göre 10 MW ve altındaki tesislerde ortalama yıllık biyokütle debisi 1 MW kurulu güç için 14.000 ton iken, 10 MW'tan büyük tesislerde ise bu değer 12.000 ton dur. Bu verilere göre, potansiyel hesabında kullanılacak tesis için birim MW kurulu güç için biyokütle miktarı 14.000 ton/yıl olarak belirlenmiştir. Kurulabilecek yakma tesisinin kapasitesi ise bu veriler ile 5 MW (68.745/14.000) olacağı hesaplanmıştır.

Tesisin yıllık çalışma süresi bakım süreleri çıkartıldığında ortalama 8.000 saattir (11 ay). Buna göre yıllık elektrik enerjisi üretimi 40.000.000 kWh/yıl (8.000 saat/yıl × 5.000 kW) olmaktadır. Türkiye'deki yenilenebilir enerji yönetmeliği gereği yenilenebilir biyokütle kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisi devlet tarafından 10 yıl süreyle 0,133 \$/kWh fiyatından alım garantisi altındadır. Buna göre öngörülen tesiste üretilen elektrik enerjisinin yıllık geliri 5.320.000 \$/yıl (40.000.000 kWh/yıl × 0,133 \$/kWh) olacaktır.

Türkiye elektrik iletim A.Ş. kurumuna göre bir evin ortalama günlük elektrik enerjisi tüketimi 10 kWh'dır ve buna göre bir evin yıllık ortalama elektrik ihtiyacı 3.650 kWh/yıl'dır (Bayrak ve Aktürk Sezer, 2011; TEİAŞ, 2017). Bir evin ısınma ihtiyacı yılın 8 ayında ısınma söz konusu olup, bu soğuk sezonda bir oda ısıtılırsa 1,5 ton birden fazla oda ısıtılırsa bu değer 3 tonu bulmaktadır. Biyokütle yakma tesisinden yıllık üretilen elektrik enerjisi bir yıl boyunca 10.959 hanenin elektrik ihtiyacını karşılayabilmeye denktir. Çukurkuyu Beldesinde 1.000 hane bulunmakta olup elde edilen bu enerji tüm konutların elektrik ihtiyacının yanında, okul, sağlık ocağı, belediye binası gibi kamu kurumlarının, sokak aydınlatmasının, tarımsal sulamada kullanılacak pompaların yıllık tüm elektrik ihtiyaçlarını karşılayabilecektir. Böylece bu kırsal alanda kullanılacak tüm elektrik enerjisi için yenilenebilir yerel kaynaklardan elde edeceği için beldenin enerjiden kaynaklı karbon emisyonu sıfır denilebilir.

Elektrik Çevrim Santrali; Kömür ve Doğal Gaz Denkliği

Ülkemizde elektrik; doğal gaz çevrim santrali ve kömürle çalışan termik santrallerden sağlanmaktadır. Kömür öz kaynaklarımızı oluşturan yeraltı zenginliğimiz iken doğal gaz ise dışarıya bağlı olduğumuz bir enerji kaynağıdır. Her iki kaynak da yenilenemez enerji kaynağı olup, enerji üretimi için kullanıldığında atmosfere ilave karbondioksit emisyonu salarak küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine neden olmaktadır. Beldedeki kurulma potansiyeli olan yakma tesisinin tahmini kurulu gücü olan 5 MW için; doğal gaz çevrim santrali ve kömürle çalışan termik santraller kıyasla enerji eşitliği hesabı yapılarak kömür ve doğal gaz denklileri hesaplanmıştır. 1 kWh elektrik üretimi için doğal gaz çevrim santralinde 0,286 m³ DG ve termik santralde 1.000 kWh elektrik enerjisi için ortalama 0,4716 Ton kömür gerekmektedir.

Doğal gaz denkliği:

$$=5.000 \text{ kWh} \times 8.000 \text{ saat/yıl} \times 0,286 \text{ m}^3 \text{ DG/1 kWh}$$

$$=11.440.000 \text{ m}^3 \text{ DG /yıl}$$

Kömür denkliği:

$$=5.000 \text{ kWh} \times 8.000 \text{ saat/yıl} \times 0,4716 \text{ Ton Kömür/1.000 kWh}$$

$$=18.864 \text{ Ton kömür/yıl}$$

Tablo 4 Bazı Yakma Tesisleri ve kapasiteleri
Table 4 Some incineration plants and their capacities

Ülke	Tesis	İşletme Kapasitesi (Ton/yıl)	Kurulu Güç (MW)	Ton/yıl.MW
Türkiye	İzaydaş, Kocaeli	35.000	5,2	6.730
İngiltere	Edmonton, London	675.000	55	12.272
İngiltere	Tysesley, Birmingham	350.000	25	14.000
İngiltere	SELCHP, London	420.000	35	12.000
İngiltere	Stoke	200.000	12,5	16.000
İngiltere	Dudley	105.000	7	15.000
İngiltere	Bolton	130.000	7	18.571
İngiltere	Teesside	390.000	30	13.000
İngiltere	Marchwood, Southampton	165.000	17	9.705
İngiltere	Devon	275.000	20	13.750
İngiltere	Chineham	102.000	7	14.571
İngiltere	Kirklees	136.000	10	13.600
İngiltere	Portsmouth	165.000	17	9.705
İngiltere	Cornwall	240.000	16	15.000
İngiltere	Grimsby	56.000	3,2	17.500
İngiltere	Nottingham	160.000	14,4	11.111
İngiltere	Sheffield	225.000	17	13.235
İngiltere	Allington	500.000	43	11.627
İngiltere	Ardley,Oxfordshire	300.000	24	12.500
İngiltere	Lakeside,Colnbrook	410.000	37	11.081
İngiltere	Runcorn	850.000	86	9.883
			Ortalama	14.000

Tablo 5 Doğalgaz çevrim santrali için CO₂ emisyon denkliği
Table 5 CO₂ equivalence for the electricity production from Natural gas plant

Kurulu Güç KW	Süre saat/yıl	Enerji kWh/yıl	Elektirik santralinde Doğal gaz Ort. verim	Emisyon Faktörü kgCO ₂ /TJ	Yakıt tüketimi TJ	CO ₂ miktarı Ton/yıl
5.000	8.000	40.000.000	0,55	56.100	261,82	14.688,00

Tablo 6 Kömürle çalışan termik santral için CO₂ emisyon denkliği
Table 6 CO₂ equivalence for the electricity production from Thermal plant

Kurulu Güç KW	Süre saat/yıl	Enerji kWh/yıl	Elektirik santralinde Kömür Ort. Verim	Emisyon Faktörü kgCO ₂ /TJ	Yakıt tüketimi TJ	CO ₂ miktarı Ton/yıl
5.000	8.000	40.000.000	0,33	100.000	436,36	43.636,36

Bu hesaplamalara göre 40 Milyon kWh/yıl elektrik enerjisi için 11.440.000 m³ DG/yıl veya 18.864 Ton kömür/yıl gerekmektedir. Elde edilen bu verilerle yenilenebilir kaynaklardan sürdürülebilir enerji üretimi sağlanmış olacak ve yenilenemez kaynakların korunması ile enerji güvenliğine katkı sağlayacaktır.

Sera Gazı Emisyon Azaltımı Hesaplamaları

Yakma tesislerinde elde edilen elektrik enerjisinin doğal gaz çevrim santrali ve kömürle çalışan termik santraller için CO₂ emisyon denklileri Tablo 5'de gösterilmiştir.

Doğal gaz elektrik çevrim santrali CO₂ denkliği hesabı;
 $((5.000\text{kW} \times 8.000\text{saat} \times 1/1.000\text{MW/kw}) \times 0,0036 / 0,55)\text{TJ} \times 56.100 \text{ kgCO}_2/\text{TJ} / 1.000 = 14688 \text{ Ton CO}_2/\text{yıl}$
 Termik santral için CO₂ emisyon denkliği;
 $((5.000\text{kW} \times 8.000\text{saat} \times 1/1.000\text{MW/kw}) \times 0,0036 / 0,33)\text{TJ} \times 100.000 \text{ kgCO}_2/\text{TJ} / 1000 = 43.636,36 \text{ Ton CO}_2/\text{yıl}$

Bu hesaplamalara göre yakma teknolojisi ile üretilen elektrik enerjisi, doğalgaz çevrim santrali ile üretilmiş olsaydı yılda 14.688 ton CO₂ doğaya salınacaktı

(Aslanoğlu ve Aydınalp Köksal, 2012). Yakma teknolojisi ile bu 14.688 ton CO₂ emisyonunu net sifra indirmek mümkün olacaktır. Yakma ile enerji üretimi sırasında atmosfere CO₂ salınımı olmaktadır. Ancak salınan bu CO₂ gazı kömür veya doğal gaz gibi fosil türevli bir kaynaktan gelmediği için atmosfere ilave bir sera gazı emisyonuna sebep olmayacaktır. Böylelikle net CO₂ emisyonu sıfır olacaktır.

Tablo 6'da kömür ile çalışan termik santral için emisyon hesabı verilmiştir. Buna göre yakma teknolojisi ile üretilen elektrik enerjisi, kömürle çalışan termik santraller ile üretilmiş olsaydı yılda 43.636,36 ton CO₂ atmosfere salınacaktı (Aslanoğlu ve Aydınalp Köksal, 2012). Yenilenebilir enerji kaynağı olan biyokütle enerjisi ile bu CO₂ emisyonunu sifra indirmek mümkündür.

Tartışma ve Sonuç

Atık yakma teknolojisi ile yerel hammadde olan atıklardan enerji üretimi ve aynı zamanda enerji üretimi sırasında çevresel problemlerin bertaraf edilmesi hem doğa dostu ve hem de ekonomik bir çözüm vadetmektedir. Kullanılan hammaddenin sürdürülebilir olması ve yerel olarak üretilebilmesi enerji arz güvenliği açısından önemli

bir faktördür. Atık yakma teknolojisinin kurulum maliyetinin yüksek olması bir dezavantaj olarak görülse de küresel ısınma ile mücadelede sera gazı olan CO₂ emisyonu bilançosunun net-sıfır emisyon olması önemli bir avantajdır. Ancak tesisin kurulum maliyeti bir süre sonra kendini ürettiği enerji ile amorti ettiği için enerji güvenliği, atık yönetimi ve sera gazı emisyonları yönetimi açısından uygun ve gelecek vadeden bir teknolojidir.

Enerjide dışa bağımlı olan ülkemizin yenilenebilir, sürdürülebilir ve doğa dostu enerji üretmesiyle yerli enerji kaynakları ve yeraltı zenginlikleri korunmuş olacaktır. Bunlara ek olarak elektrik üretim noktalarından ve iletim hatlarından uzakta olan kırsal bölgelerde hem elektrik enerjisi üretimi hem de tarımsal atık yönetimi için atık yakma teknolojisinin uygun olduğu söylenebilir.

Teşekkür

Çalışma süresince verdikleri desteklerden, bilgi ve tecrübe paylaşımlarından dolayı Niğde ili, Çukurkuyu Belediyesi Belediye Başkanı Sayın İleri KOÇAK beye teşekkürlerimi sunuyorum.

Kaynaklar

Acaroğlu M. 2003. Modern Biyokütle-Biyomotorin Enerji Üretimine Geçişte Yasal Sorunlar ve Öneriler, Türkiye 9. Enerji Kongresi, Enerji Sektöründe Serbestleşme, Yeni Politika, Stratejiler ve Sosyo-Ekonomik Etkileri Cilt I. Dünya Enerji Konseyi-Türk Milli Komitesi, İstanbul.

Akpınar E, Başbüyük A. 2011. Jeoekonomik Önemi Giderek Artan Bir Enerji Kaynağı: Doğalgaz. Turkish Studies, International Periodical For The Languages, Literature and History of Turkish, 6/3 Summer, 119-136.

Arı V. 2007. Türkiye Enerji Kaynakları, Enerji Planlaması ve Enerji Stratejileri. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 38-138.

Arıkan Y. 2006. İklim Değişikliği ile Savaşım Politikalarında Biyoyakıtlar ve Avrupa Birliği. Biyoyakıt Dünyası, Sayı 4, s. 25, Ankara.

Arif M, Kumar R, Zusman E, Singh RP, Gupta A. 2018. Assessment of Indoor & Outdoor Black Carbon emissions in rural areas of Indo-Gangetic Plain: seasonal characteristics, source apportionment and radiative forcing. Atmospheric Environment, 191: 227-240.

Aslanoğlu SY, Aydınalp Köksal M. 2012. Elektrik Üretimine Bağlı Karbondioksit Emisyonunun Bölgesel Olarak Belirlenmesi ve Uzun Dönem Tahmini. Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi, 1:19-29.

Ayhan EA. 2008. Enerji Kaynakları, Dünya Enerji Güvenliği ve Orta Asya Jeopolitiği Çerçevesinde Türkiye'nin Enerji Politikaları ve Ekonomik Yansımaları. Makine Mühendisliği Anabilim Dalı. Temmuz, Kafkas Üniversitesi, Kars, 3-38.

Aynur E. 2011. İstanbul'da Oluşan Kentsel Katı Atıklar İçin Yakma ve Gazlaştırma Sistemlerinin Karşılaştırmalı Analizi. Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı. İstanbul Teknik Üniversitesi: İstanbul.

Bayrak Y, Aktürk Sezer HR. 2011. Konut Aydınlatmasında Elektrik Tasarrufu Ve Toplam Türkiye Tüketimine Etkisi. Türkiye Elektrik İletim A.Ş. APK Dairesi Başkanlığı.

Bayramoğlu T. 2013. Biyokütle Enerjisi ve Yerel Ekonomik Kalkınma: TRA1 Bölgesi'nde (Erzurum-Erzincan-Bayburt) Biyokütle Potansiyeli ve Ekonomik Etkileri Üzerine Bir Saha Araştırması. Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı, Atatürk Üniversitesi: Erzurum.

Chen G, Wang X, Li J, Yan B, Wang Y, Wu X, Velichkova R, Cheng Z, Ma W. 2019. Environmental, energy, and economic analysis of integrated treatment of municipal solid waste and sewage sludge: A case study in China. Science of the Total Environment, 647:1433-1443.

Çelikkpala M. 2014. Enerji Güvenliği: Nato'nun Yeni Tehdit Algısı. Uluslararası İlişkiler Konseyi Derneği, Uluslararası İlişkiler Dergisi.

Çubuk MH ve Heperkan HA. 2000. Orhaneli Linyitine % 5 Biyokütle İlavesinin SO₂ Emisyonuna Etkisi. III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı Cilt II, İTÜ, Temiz Enerji Vakfı, İGDAŞ,461, İstanbul.

D.E.K.T.M. Komitesi. 2012. Türkiye 12. Enerji Kongresi Sonuç Bildirgesi.

Dereli C. 2012. Plazma Gazlaştırma Teknolojisi İle Katı Atık Bertarafı. Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri, Gazi Üniversitesi, Ankara, 3-69.

Gezer EH. 2013. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Türkiye. Sosyal Bilimler Enstitüsü Kamu Yönetim Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara. 14-60.

International Energy Agency (IEA). 2007. Renewables in Global Energy Supply. IEA Publications, Paris, 6-7.

Kahraman M. 2014. Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme İçin Türkiye Üzerine Bir Modellleme. Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı İktisat Bilim Dalı, Uludağ Üniversitesi Bursa.

Koç E. 2010. Dünyada Ve Türkiye'de Enerji Durumu. Genel Değerlendirme. Mühendis ve Makine Dergisi.

Önk FÖ. 2010. Avrupa Birliği'nin Enerji Arz Güvenliği ve Türkiye'nin Rolü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Avrupa Birliği ve Uluslararası Ekonomik İlişkiler Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi, Ankara.

Pandiyan K, Singh A, Singh S, Saxena AK, Nain L. 2019. Technological interventions for utilization of crop residues and weedy biomass for second generation bio-ethanol production. Renewable Energy, 132:723-741.

Parajuli R, Thoma G, Matlock MD. 2019. Environmental sustainability of fruit and vegetable production supply chains in the face of climate change: A review. Science of The Total Environment, 650:2:2863-2879.

Rajasekhara M, Venkat Raob N, Chinnna Raoc G, Priyadarshinid G, Jeeyan Kumare N. 2015. Energy Generation from Municipal Solid Waste by Innovative Technologies. 2nd International Conference on Nanomaterials and Technologies (CNT 2014), Plasma Gasification Procedia Materials Science, 10:513 – 518.

ROCKWOOL. 2017. <http://www.rockwool.com.tr/surdurulebilir-binalar/cevre/iklim+degisikligi+ve+enerji+tuketimi> (erişim tarihi 09.01.2017)

Tamzok DN. 2015. Kömür Sektör Raporu – 2014. T.K.İ. Kurumu, Ankara.

TEİAŞ. 2017. Türkiye Elektrik İletim AŞ. <http://www.teias.gov.tr> (erişim tarihi 08.01.2017)

Yıldız M. 2016. Dünya'da ve Türkiye'de Alternatif ve Fosil Enerji Kaynaklarının Geleceğe Yönelik Etüdü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Karadeniz Teknik Üniversitesi: Trabzon, 1-54.