

Türkiye’de Tarımsal ve Hayvansal Atıklardan Biyokömür Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi

Sarp Korkut SÜMER*¹ Yasemin KAVDIR² Gıyasettin ÇİÇEK¹
¹ÇOMÜ, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Çanakkale
²ÇOMÜ, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Çanakkale

Geliş (Received): 24.04.2016

Kabul (Accepted): 06.06.2016

ÖZET: Bu çalışmada, Türkiye’de tarımsal ve hayvansal atıkların biyokömüre dönüşüm potansiyeli teorik olarak belirlenmiş ve biyokömür üretim olanakları değerlendirilmiştir. biyokömür potansiyelinin belirlenmesinde, kullanılabilir atık potansiyeli bulunan üretim faaliyetlerine ait TÜİK istatistikleri ile çeşitli kurum ve araştırmacılar tarafından belirlenmiş katsayılar dikkate alınmıştır. Türkiye’de 2015 yılında üretilen tarımsal ve hayvansal üretim atıklarının biyokömür dönüşüm potansiyelinin 3 942 654 ton olduğu saptanmıştır. Toplam biyokömür potansiyelinin % 77’sini hayvansal atıklar, % 22.5’ini bahçe ve bağ budama atıkları, % 0.6’sını ise tarla tarımı atıkları oluşturmaktadır. Çalışmada, biyokömürün kullanım amaçları, dönüşüm yöntemleri, uygulama oranları, yararları üzerine literatür bilgisi sunulmuştur. Atık potansiyelinin ülkemiz koşullarında biyokömüre dönüştürülme olanakları değerlendirilmiş ve mevcut durum ile geleceğe yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Biyokömür, tarımsal ve hayvansal atık; biyokütle, atık geri kazanımı

Determining The Potential of Biochar Production from Agricultural and Livestock Wastes in Turkey

ABSTRACT: In this study, the potential of converting agricultural and animal wastes to biochar were theoretically determined and biochar production possibilities were evaluated in Turkey. TUIK statistical data and coefficients determined by various institutions and investigators were taken into account to determine biochar potential of production activities with potentially available wastes. Biochar conversion potential of agricultural and animal production wastes in 2015 was estimated about 3 942 654 tones in Turkey. The total biochar potential constituted of 77%, 22.5% and 0.6% for animal wastes, garden and vineyard pruning wastes, and agricultural land disposal wastes, respectively. In this study, biochar use purposes, conversion methods, application rates and benefits are presented based on the literatures. The possibilities of waste conversion potential to biochar were evaluated in our country and recommendations were made for the future based on the current situation.

Key words: Biochar, Agricultural and Livestock Wastes; Biomass; waste recycling

GİRİŞ

Türkiye’nin yıllık biyokütle potansiyeli 109.4 milyon ton olarak tahmin edilmektedir. Ülkemiz ormanlarında yıllık olarak atık odunsu biyokütlenin (yonga, talaş, kabuk, dal, yaprak ve benzeri) 5-7 milyon ton miktarında olduğu belirtilmektedir. Sap (ayçiçeği, mısır, pamuk, domates, kolza vb.), kabuk-kılıf (kahve, soya, pirinç, yer fıstığı, fındık, ceviz vb.), sap-saman (buğday, arpa, çavdar, yulaf vb.) ve meyve çekirdeklerinden oluşan tarımsal atıklar, hayvansal atıklar (küçükbaş, büyükbaş, kanatlı gübreleri vb.) endüstriyel atıklar (prina vb.), ülkemiz için diğer önemli biyokütle kaynaklarıdır (50-65 milyon ton). Türkiye’de tarımsal üretimden sonra geriye kalan atıkların büyük bir bölümü doğrudan yakılarak değerlendirilmekte ya da tarlada bırakılmaktadır. İşlenmemiş hayvansal ve çiftlik atıklarının tarımsal arazilere uygulanması ile atık içinde bulunan zararlı maddeler tarım toprağının verimliliğini düşürmekte ve çevresel kirliliğe sebep olmaktadır (Başçetinçelik ve ark., 2005; DBFZ, 2011; Anonim, 2012; Anonim, 2013a; Anonim, 2013b).

Son yıllarda dünyada organik atıkların geri kazanımına verilen önem hızla artmış ve biyokütlenin dönüşümüne yönelik çok sayıda teknik geliştirilmiştir. Piroliz, kabul gören ve kullanım alanı bulan önemli

biyokütle termokimyasal dönüşüm tekniklerinden birisi olarak, araştırmacılar tarafından ilgi görmekte ve çeşitli yönleriyle farklı amaçlar için araştırılmaktadır. Biyokütlerin sınırlı oksijen altında veya oksijensiz olarak yüksek sıcaklıklarda (300-700 °C) yakılma sürecine piroliz denilmektedir. Bu sürecin ürünleri; H₂, CH₄, CO, CO₂ ve diğer gazları içeren gaz (singaz), katran ve çeşitli yağları içeren sıvı (biyo-yağ) ve kömür granülü, karbon ve diğer inert materyalleri içeren katı fazlardan (biyokömür) oluşmaktadır. Elde edilen üç farklı fazdaki ürün, enerji üretimi amaçlı olarak kullanılmaktadır. Karbonca zengin organik bir materyal olan biyokömür, enerji amaçlı kullanımının yanı sıra, toprak verimliliğinin ve toprakların organik madde içeriğinin iyileştirilmesi, ağır metallerin su ve topraktan uzaklaştırılması amacıyla da hizmet eden bir materyal olma özelliğini taşımaktadır (Ni ve ark., 2006; Lehmann, 2007a; Winsley, 2007; Lliffe, 2009). “biyokömür” kelimesini “odun kömüründen ayıran en önemli özellik, odun kömürünün sadece yakıt olarak değerlendirilirken biyokömürün ise atmosferik karbonu toprağa bağlayan, gaz emisyonlarını azaltan ve toprakları düzenleyen bir materyal olarak değerlendirilmesidir (Çağlar, 2004; Lehmann, 2007b; Downie ve ark., 2009; Chan ve Xu, 2009).

Piroliz tekniği, hızlı piroliz ve yavaş piroliz olmak üzere iki farklı yöntem ile uygulanabilmektedir (Lehman ve Joseph, 2009). Hızlı piroliz tekniği, biyokütlenin yüksek ısıtma hızlarında ($100\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ dak}^{-1}$ ve üzeri) yakılarak bozunması işlemidir. Bu yöntem, özellikle sıvı ve gaz ürün eldesi için kullanılmaktadır (Anonymous, 2011; Stoye, 2011; Brewer, 2012). Yavaş piroliz tekniği, biyokütlenin oldukça düşük ısıtma hızlarında ($5\text{-}10\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ dak}^{-1}$) yakılarak bozunması işlemidir. Yavaş piroliz tekniğiyle, hızlı pirolize kıyasla daha yüksek oranlarda katı ürün (biyokömür), daha düşük oranlarda sıvı ve gaz ürün elde edilmektedir (Chen ve ark, 1997; Anonymous, 2011; Stoye, 2011; Brewer, 2012).

Piroliz yöntemi ile ilgili literatür incelendiğinde, araştırmacıların biyokütlelerden özellikle biyokömür ve bio-yağ verimliliğine yönelik parametrelerin belirlenmesine yöneldikleri görülmüştür. Varheijen ve ark. (2009), konu üzerine yürüttükleri bir çalışmada “biyokömür”, “*Terra Preta*” veya “siyah toprak” ile ilgili en eski yayının (ISI Web of Science TM veya ScopusTM) 1953 yılında yapıldığını, bu yayını sırasıyla, 1984 ve 1998 yıllarında yapılan yayınların izlediğini bildirmiştir. Yılın ve ark., (2005), meşe, çam ve kavak gibi türlerin hızlı pirolizi ile elde edilen sıvı ve diğer ürünlerin verimine sıcaklığın, tane boyutunun ve odun türünün etkisinin belirlenmesi üzerine bir araştırma yürütmüşlerdir. Noor ve ark. (2012), manyok (Cassava) bitkisinin kök ve saplarının piroliz tekniği ile biyokömüre dönüştürülmesi üzerine laboratuvar denemeleri yürütmüşlerdir. Stoye (2011), laboratuvar koşullarında, çeşitli biyokütlelerden (ahır gübresi, çeltik kavuzu ve mısır koçanı) biyokömür üretiminde, farklı piroliz sıcaklıklarının biyokömür verimi ve niteliği üzerindeki etkilerinin belirlenmesi üzerine bir çalışma yürütmüştür. Winsley (2007), biyokömür ve biyoenerji üretiminin iklim değişikliği üzerindeki etkilerini belirlediği çalışmada, biyokömür üretiminde piroliz sıcaklığının önemini vurgulamış ve sıcaklık artışının biyokömür verimini azalttığını bildirmiştir. Çeşitli biyokütlelerden yavaş piroliz ile biyokömür üretimi üzerine farklı araştırmacılar tarafından benzer eğilimler saptanmıştır (Williams ve Besler, 1996; Çağlar, 2004; Demirbaş, 2004; Demirbaş, 2006; Tiftik ve ark. 2006; Khor ve ark., 2009; Gheorghe ve ark. 2010).

Dünyada, bilim insanları tarafından biyokömüre olan ilginin düzeyi, özellikle son yıllarda yürütülen çalışmaların yoğunluğundan anlaşılmaktadır. Çok sayıda araştırmacı piroliz prosesi ile elde edilen biyokömürün verimi kadar kimyasal ve fiziksel özelliklerinin de önemini vurgulamışlar ve çeşitli biyokütlelerden değişik parametreler ile elde edilen biyokömürlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile toprak ve çevreye yarar düzeylerini de incelemişlerdir. Lee ve ark. (2013b), laboratuvar koşullarında bir enerji bitkisi olan “*miskantus*”un yavaş pirolizi ile üretilen biyokömürlerin toprak verimliliği bakımından önemli olan fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelemişlerdir.

Lee ve ark. (2013a), diğer bir çalışmada yavaş piroliz ile farklı biyokütlelerden (Şeker kamışı küspesi, çeltik samanı, palmiye çekirdeği kabuğu, şemsiye ağacı) ürettikleri biyokömürlerin özelliklerini karşılaştırmışlar ve toprak verimliliğine etkilerini incelemişlerdir.

Bu çalışmada, çok sayıda araştırmacı tarafından tarımsal verimlilik üzerine faydaları ortaya konulmuş, ancak ülkemiz insanları tarafından henüz yeterince tanınmayan biyokömürün, ülkemizde yürütülen tarımsal ve hayvansal üretim atıklarından dönüşüm olanaklarının araştırılması ve potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada ülkemiz biyokömür üretimine konu olabilecek atık potansiyeli olan tarımsal (bağ, bahçe, tarla tarımı) ve hayvansal üretim (büyükbaş, küçükbaş, kanatlı) atıklarının biyokömüre dönüştürülme potansiyeli belirlenmiştir. Belirlenen atık potansiyelinin biyokömüre dönüştürülerek değerlendirilmesi üzerine mevcut olanaklar tartışılmıştır.

MATERYAL ve METOD

Çalışmada öncelikle ülkemizin bitkisel ve hayvansal üretim faaliyetleri incelenmiş ve biyokömür üretimine konu olabilecek atık potansiyeli bulunan ürünler belirlenmiştir. Söz konusu belirlemede, atıklarının ticari değere sahip olduğu ya da farklı amaçlar için etkin olarak kullanıldığı ürünler değerlendirme dışında tutulmuştur. Seçilen ürünlerin atık potansiyellerinin belirlenebilmesi için yıllık üretim istatistiklerinin bilinmesi gereklidir. Çalışmada ihtiyaç olunan bitkisel ve hayvansal üretim değerleri için Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK, 2016) verileri dikkate alınmıştır. TÜİK verilerinden yararlanılarak öncelikle Türkiye’de tarım arazilerinin ürün gruplarına göre 2011-2015 yılları arasındaki verileri kapsayan dağılımları oluşturulmuştur. Daha sonra biyokömür üretimine konu olabilecek atık potansiyeli bulunan tarla ürünlerinin 2015 yılı kullanılabilir atık miktarları belirlenmiştir. Seçilmiş tarla ürünlerinin atık miktarlarının belirlenmesinde ürünlerin hasat edilen arazi büyüklüğü değerleri esas alınmıştır. TÜİK (2016) tarım istatistiklerinden alınan bu değerler ile CEC (California Energy Commission) (2015) tarafından belirlenmiş katsayılar ve kullanılabilirlik oranlarından yararlanılarak, seçilmiş ürünlerin tarlada bırakılan yıllık atık ve kullanılabilir atık miktarları hesaplanmıştır. Seçilen ürünlere ait atık katsayıları ve kullanılabilirlik oranları Çizelge 1’de verilmiştir.

Bağ ve bahçe tarımında ağaç budama faaliyetleri de biyokömür üretimine konu olabilecek atıklar oluşturmaktadır. Bu atıkların belirlenmesinde seçilen ürünlerin (meyve) ağaç sayıları dikkate alınmıştır. TÜİK (2016) tarım istatistiklerinden alınan meyve veren yetişkin ağaç sayıları ile Bilanzija ve ark. (2012) tarafından yürütülen çalışmada belirlenmiş budama katsayıları ve CEC (California Energy Commission) (2015) tarafından belirlenmiş kullanılabilirlik oranlarından yararlanılarak, seçilmiş meyve ağaçlarının yıllık budama atık ve kullanılabilir atık miktarları

hesaplanmıştır. Seçilen ürünlere ait budama katsayıları ve kullanılabilirlik oranları Çizelge 2’de verilmiştir.

Ülkemizde tarımsal üretimin yanı sıra hayvancılık da önemli bir yer tutmaktadır. Hayvan yetiştiriciliğinin büyük bölümünü büyükbaş, küçükbaş ve kümes (kanatlı) hayvanları oluşturmaktadır. Çalışmada hayvansal üretim atıklarının (gübre) belirlenmesinde yetişkin hayvan sayıları (TÜİK, 2016) ile Başçetinçelik ve ark (2005) tarafından oluşturulan “Türkiye’de Tarımsal Atıkların Değerlendirilmesi Rehberi” katsayıları kullanılmıştır.

Rehberde göre büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı için sırasıyla hayvan başına günlük yaş gübre miktarı; 18 kg, 2 kg, 0,08 kg, kuru gübre oranı %12.7, %25, %25 ve kullanılabilir gübre oranı %65, %13, %99.9’dur. Büyükbaş hayvanlar için manda ve sığır, küçükbaş hayvanlar için keçi ve koyun, kanatlılar için tavuk, hindi, kaz ve ördek sayıları dikkate alınmıştır.

Çalışmada, seçilmiş bitkisel ve hayvansal ürünlerin atıklarından biyokömür üretim potansiyelinin belirlenmesinde, öncelikle biyokömür üretiminin gerçekleştirildiği piroliz yöntemi araştırılmış ve konu üzerine yürütülmüş araştırma ve sonuçları incelenmiştir. biyokömür üzerine yoğunlaşan araştırmacılar, öncelikle hangi piroliz yöntemi ve parametrelerinin biyokömür verimi üzerinde daha etkili olduğu üzerine çalışmalar yürütmüşler ve bu amaç için çeşitli biyokütlelere, çoğunlukla 300-700 °C arasındaki belirli sıcaklıklarda hızlı ve yavaş piroliz yöntemini uygulamışlardır. Rapor edilen araştırma sonuçlarına göre biyokütle çeşidi ve uygulama parametrelerine bağlı farklılıklar olmakla birlikte, biyokömür verimini arttırmak için yavaş piroliz yönteminin gerekliliği bildirilmiştir. Laird (2008), yavaş piroliz ile yaklaşık %50 oranına kadar biyokömür üretilebildiğini bildirmiştir.

Çizelge 1. Türkiye’de tarla ürünleri artıkları ve biyokömür dönüşüm potansiyeli

Ürün	Atıklar	Hasat edilen alan da	Atık Katsayısı Ton da ⁻¹ yıl	Atık miktarı ton yıl ⁻¹	Kullanılabilir oran	Kullanılabilir atık, ton yıl ⁻¹	Biyokömür dönüşüm oranı	Biyokömür potansiyeli ton yıl ⁻¹
Mısır	Sap, sömek	6 861 686	1.00	6 847 963	0.50	34 240	35	11 984
Şekerpancarı	Sap	2 752 621	0.51	1 401 084	0.50	7 005	35	2452
Pamuk	Sap, çırcır atığı	4 340 004	0.32	1 384 461	0.50	6 922	35	2 423
Ayçiçeği	Sap	6 851 737	0.18	1 233 313	0.50	6 167	35	2 158
Çeltik	Sap, kabuk	1 158 561	0.74	860 811	0.50	4 304	35	1 506
Domates	Sap	1 871 637	0.32	600 795	0.50	3 004	35	1051
Patates	Sap	1 538 022	0.30	455 255	0.50	2 276	35	797
Toplam		25 374 268		12 783 681		63 918		22 371

Çizelge 2. Türkiye’de bahçe ürünleri budama artıkları ve biyokömür dönüşüm potansiyeli

Çeşit	meyve veren ağaç sayısı	Budama katsayısı kg ağaç yıl ⁻¹	Budama atığı ton yıl ⁻¹	Kullanılabilir oran	kullanılabilir budama atığı ton yıl ⁻¹	Biyokömür dönüşüm oranı, %	Biyokömür potansiyeli ton yıl ⁻¹
Zeytin	144 759 715	9.08	1 314 418	0,70	920 093	35	322 032
Fındık	358 147 878	3.05	1 092 351	0,70	764 646	35	267 626
A.Fıstığı	40 597 427	8.8	357 257	0,70	250 080	35	87 528
Turunçgil	34 363 391	5.3	182 126	0,70	127 488	35	44 621
Elma	52 272 199	2.34	122 317	0,70	85 622	35	29 968
Kiraz	20 615 760	5.9	121 633	0,70	85 143	35	29 800
Şeftali	14 621 962	7.23	105 717	0,70	74 002	35	25 901
Kayısı	15 403 453	5.79	89 186	0,70	62 430	35	21 851
Erik	8 889 209	7.34	65 247	0,70	45 673	35	15 985
İncir	9 747 412	4.58	44 643	0,70	31 250	35	10 938
Badem	5 863 629	5.81	34 068	0,70	23 847	35	8 347
Vişne	6 040 921	5.37	32 440	0,70	22 708	35	7 948
Armut	10 872 694	2.45	26 638	0,70	18 647	35	6 526
Ceviz	7 596 020	3.43	26 054	0,70	18 238	35	6 383
Üzüm	4 619 557	0.89	4 111	0,70	2 878	35	1 007
Toplam	734 411 227		3 618 207		2 532 745		886 461

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA, International Energy Agency) çeşitli araştırmacıların raporlarına dayanarak, ortalama bir yaklaşımı 2007 yılında yayınlamıştır (Çizelge 3). TÜİK verileri ve çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenmiş katsayı ve oranlar

dikkate alınarak hesaplanan atık miktarlarının biyokömüre dönüşümü için Çizelge 3'de verilen en yüksek verime sahip yavaş piroliz yönteminin kullanıldığı varsayımı yapılarak, tüm atıklar için %35 dönüşüm oranı kullanılmıştır.

Çizelge 3. Farklı piroliz yöntemlerinin biyokömür dönüşüm oranları (Bridgwater, 2007; IEA, 2007; Lehman ve Joseph, 2009)

Piroliz	Koşullar	Sıvı (%)	Biyokömür (%)	Gaz (%)
Hızlı	Orta sıcaklık, ~500°C, kısa bekleme süresi ~ 1 s	75	10	15
Orta	Orta sıcaklık ~500°C, orta bekleme süresi 10 – 20 s	50	20	30
Yavaş	Orta sıcaklık ~500°C, uzun bekleme süresi, 5-30 dakika	30	35	35
Gazifikasyon	Yüksek sıcaklık ~750°C, orta bekleme süresi, 10-20 s	5	10	85

BULGULAR ve TARTIŞMA

Türkiye tarım arazilerinin 2011-2015 yıllarına ait ürün gruplarına göre dağılımı Çizelge 4'de verilmiştir. Çalışmada tarla ürünlerine ait atık miktarları, 2015 yılı üretim alanı büyüklükleri dikkate alınarak, belirlenmiş ve biyokömür dönüşüm potansiyeli bu miktarlar için değerlendirilmiştir. Çizelge 4 incelendiğinde son beş yıl içinde tarım arazileri dağılımında önemli değişimlerin olmadığı, toplam tarım arazisinin küçük oranlarda olsa da yıllara göre artmış olduğu görülmektedir.

Çizelge 4'de biyokömür üretimine konu olabilecek atık potansiyeline sahip tarla ürünlerinin 2015 yılı üretim alanları, atık çeşitleri, atık katsayıları, kullanılabilir oranları ve kullanılabilir atık miktarları ile biyokömür üretim potansiyelleri verilmiştir. Türkiye'de tahıl (buğday, arpa, yulaf vb.) atıkları hayvancılık sektörü için önemli ve yaygın kullanımı olan yem kaynaklarıdır. Bu ürünlerin ayrıca hayvan atlığı olarak da kullanımları mevcuttur. Büyük alanlarda üretimi gerçekleştirilen tahıl ürünlerine ait atıklar da biyokömür üretimine konu olabilecek biyokütleler olmasına karşın sayılan nedenlerle değerlendirmeye alınmamıştır. Hasadı sonrasında atıklarının önemli miktarı tarlada bırakılan ürünler dikkate alınarak belirlenen biyokömür dönüşüm potansiyeli, toplam 22 371 ton yıl⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bu miktarın % 54'ünü mısır atıkları oluşturmaktadır. Çeltik, domates ve patates atıklarının ise diğer ürünlere göre daha düşük atık potansiyeline sahip oldukları görülmektedir.

Türkiye'de tarım alanlarının % 14'lük bölümünde meyve üretilmektedir. 3 283 848 ha alanda yürütülen bağ ve bahçe tarımında budama faaliyetleri ürüne göre değişmekle birlikte genellikle yılda iki defa yapılmakta ve önemli düzeylerde selülozik atıklar oluşturmaktadır. Çizelge 4'de budama atığı potansiyeli bulunan bağ ve bahçe üretimlerine ait 2015 yılı ağaç sayısı, budama katsayıları, kullanılabilirlik oranları ve budama atığı ile biyokömür dönüşüm potansiyeli verilmiştir. Ülkemizde bahçe ve bağ budama artıkları kaynaklı toplam biyokömür potansiyelinin %36 ve %30'luk büyük bölümü sırasıyla zeytin ve fındık üretimi kaynaklıdır. Ülkemizde meyve üretim alanlarında oluşan budama atıkları genellikle yakılmakta ya da boş alanlara terk edilmektedir. Araştırmacılar bu artıkların, yakma işlemi

yanı sıra toprağa gömme, kompostlaştırma ve yeniden işleme yöntemleri ile de değerlendirilebileceğini vurgulamaktadırlar (Şeflek ve ark., 2006; Çanakçı ve ark. 2010).

Hayvansal üretim işletmeleri, biyokömür üretimine konu olabilecek atık potansiyeli bulunan diğer bir sektörü oluşturmaktadır. Ülkemizdeki hayvansal üretim desenini temsil eden sınıflandırmaya ait 2015 yılı hayvan sayıları, kullanılabilir hayvansal gübre miktarları ve biyokömür dönüşüm potansiyeli Çizelge 5'de verilmiştir. Türkiye 2015 hayvansal üretim istatistikleri dikkate alınarak belirlenen biyokömür dönüşüm potansiyelinin %65'ini büyükbaş hayvansal üretim atıkları oluşturmaktadır.

Ülkemizde kırsal kesimde ilkel beslenen küçükbaş ve büyükbaş hayvan sayısı yıldan yıla azalırken çiftliklerde çok hayvanlı besi hayvancılığı hızlı bir artış göstermektedir. Aynı şekilde çok sayılı kümes hayvanının bir arada beslendiği tavuk çiftlikleri de hızla artmaktadır. Bu durum hayvan atıklarından daha büyük tesislerde yararlanma olanaklarının daha ekonomik hale gelmesini sağlayacaktır. Hayvan üretim işletmelerinde biriken atıklar, toplanarak işlenmemiş halde tarımsal alanlara veya toprak yüzeylere serilmekte, suyla kürenerek sonrasında fizikokimyasal ve/veya biyolojik proseslerle arıtılıp alıcı ortamlara deşarj edilmekte, çöp döküm alanlarında depolanmakta veya kontrolsüz şekilde yakılmaktadır. İşlenmemiş hayvansal ve çiftlik atıklarının tarımsal arazilere uygulanması ile atık içinde bulunan zararlı maddeler tarım toprağının verimliliğini düşürmekte ve çevresel kirliliğe sebep olmaktadır. Mevcut durumda uygulanan depolama, kontrolsüz yakma veya su kaynaklarına deşarj, organik içeriği yüksek ve enerji üretim potansiyeli olan bu atıkların değer kaybına yol açmaktadır. Bütün bu yanlış atık uygulamaları göz önünde bulundurulduğunda, hayvansal atıklar için sürdürülebilir atık yönetimi yaklaşımının benimsenmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Hayvansal atık yönetiminin amacı, büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvancılığın gerçekleştirildiği bölgelerde, büyük miktardaki potansiyel hayvan atıklarının kullanım kapasitesini, sağlıklı çevre, ekonomik ve sosyal yararlar dikkate alınarak ve sürdürülebilir biçimde arttırmaktır.

Çizelge 4. Türkiye tarım arazilerinin yıllara ve ürün gruplarına göre dağılımı-hektar (TÜİK, 2016)

	Toplam tarım alanı	Tahıl ve diğer bitkisel ürünlerin alanı		Sebze bahçeleri alanı	Meyveler, içecek ve baharat bitkileri alanı	Süs bitkileri alanı
		Ekilen alan	Nadas			
2011	23613761	15691567	4017197	809642	3091136	4220
2012	23781999	15463376	4286137	826736	3200961	4790
2013	23805512	15612900	4147587	808488	3232035	4504
2014	23940714	15781817	4107618	803576	3242811	4891
2015	23948634	15737705	4113976	808507	3283848	4597

Çizelge 5. Türkiye’de hayvansal atıklardan biyokömür dönüşüm potansiyeli

Hayvan sınıfı	Hayvan Sayısı	Yaş gübre, ton yıl ⁻¹	Kuru gübre ton yıl ⁻¹	Kullanılabilir kuru gübre ton yıl ⁻¹	Biyokömür dönüşüm oranı	Biyokömür potansiyeliton yıl ⁻¹
Büyükbaş	10 683 167	70 188 407	8 612 118	5 597 876	0.35	1 959 257
Küçükbaş	32 171 551	23 485 232	5 871 308	763 270	0.35	267 145
Kanatlı	316 332 446	9 236 907	2 309 227	2 306 918	0.35	807 421
Toplam	359 187 164	102 910 547	16 792 652	8 668 064	0.35	3 033 822

Bu kapsamda hayvansal atıklar, miktar ve özelliklerine bağlı olarak ve uygun teknolojiler kullanılarak enerji eldesi amacıyla atık yönetimi çerçevesinde değerlendirilebilmektedir (DBFZ, 2011; GMKA, 2013).

Çalışma kapsamında ülkemizin 2015 yılı tarımsal ve hayvansal atıklarının biyokömür dönüşüm potansiyelinin 3 942 654 ton olduğu saptanmıştır. Hayvansal gübre kaynaklı biyokömür potansiyeli, toplamın % 77’sini, bahçe ve bağ tarımı budama atıkları kaynaklı biyokömür potansiyeli toplamın % 22.5’ini ve tarla tarımı atıkları ise toplam biyokömür potansiyelinin % 0.6’sını oluşturmaktadır.

Biyokömürün toprağa uygulanması ve etkileri üzerine çalışan araştırmacılar, uygulama oranının kullanılan biyokütle çeşidine, proliz tekniğine, parçacık boyutuna, toprak özelliklerine ve yetiştirilen bitki çeşidine bağlı olarak değişim gösterdiğini rapor etmişlerdir. Söz konusu raporlar incelendiğinde, 1 ha alana 5-50 ton arasındaki uygulamaların verim üzerinde etkili olduğu ve 50 ton üzerindeki uygulamaların verimi azaltma etkisinin olabileceği bilgisine ulaşılmaktadır (Rondon ve ark., 2007; Chan ve ark., 2007; Major ve ark., 2010a). Weyers ve ark. (2009) 67 ton ha⁻¹ uygulama oranının aşılması durumunda solucan gibi toprak canlılarının hayatta kalma oranını azalacağını bildirmişlerdir. Shackley ve ark. (2012) 30-41.5 ton ha⁻¹ arası biyokömür uygulamasının çeltik yetiştiriciliğinde %40’a kadar verim artışı sağladığını rapor etmişlerdir. Sokchea ve ark. (2013) toprak verimi artışında en yüksek pozitif etkinin elde edilebilmesi için 100 ton ha⁻¹ oranında biyokömür uygulanmasını önermişlerdir. Lehmann ve ark. (2006) 140 ton ha⁻¹ oranına kadar yapılan biyokömür uygulamalarının verim artışı sağlayacağını bildirmişlerdir. Görüldüğü gibi biyokömür uygulama oranının bağlı olduğu değişkenler üzerine yönlendirici ve kıyaslanabilir veri ortaya konulamamıştır. Bunun için çok sayıda faktör ve değişkenler dikkate alınarak yoğun araştırmaların yapılma gerekliliği vurgulanmaktadır (Asai ve ark., 2009; Gaskin ve ark., 2010). Toprağa uygulanan

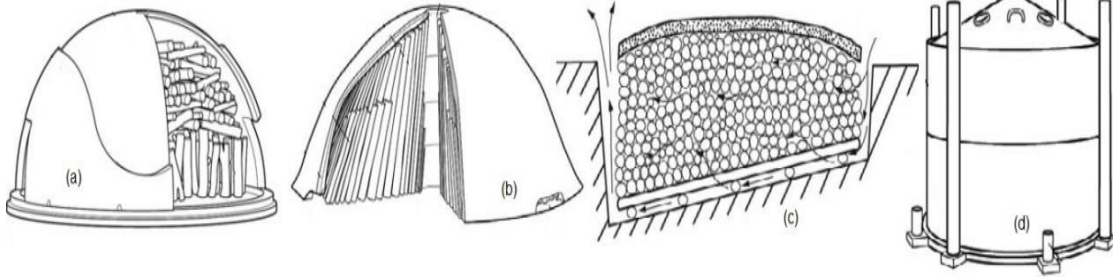
biyokömürün uzun yıllar özelliğini koruması ve işlevini yerine getirebilmesine karşın, rüzgar, yağmur ve sulama suyu, topraktaki biyokömür erezyonuna neden olmakta ve bu durum arazi eğimine göre artış göstermektedir. Uygulamaların toprağın üzerine değil, içine karıştırılarak yapılması durumunda bu olumsuzluğun azaltılabileceği bildirilmektedir (Blackwell ve ark., 2009; Major ve ark., 2010a). Belirtilen nedenlerle tarlaya yapılan biyokömür uygulamasının bir ya da iki ürün yetiştirme sürecinde yarar sağlayabileceği ve koşullara bağlı olarak farklı periyotlarla uygulamanın tekrarlanması gerekliliği bildirilmektedir (Steiner ve ark., 2007; Major ve ark., 2010b). Blackwell ve ark. (2009) biyokömürün toprağa doğrudan uygulanmasının yanı sıra, gübre ya da kompost içerisine de karıştırılarak kullanılabileceğini bildirmişler, ancak bu şekildeki uygulamanın etkilerinin yeterince ortaya konulmamış olduğunu vurgulamışlardır. Prost ve ark., (2013) kompost yapılırken içine bir miktar biyokömür karıştırılmasının ortaya çıkan CO₂ ve diğer gazların emisyonlarını azalttığını, kompostu steril yaptığını ve kompostun KDK (Katyon değişim kapasitesi) değerini arttırdığını belirtmişlerdir.

Türkiye’de tarım ve hayvansal atıklardan elde edilebilecek maksimum biyokömür potansiyelinin (3 942 654 ton) toplam arazilerin (23 948 634 ha) tamamına uygulanacağı dikkate alındığında uygulama oranı 0.16 ton ha⁻¹ olmaktadır. Biyokömür uygulama oranı, frekansı ve verim artışı üzerine yürütülmüş çalışma sonuçları dikkate alınarak ülkemiz koşullarında birim alan için uygulama oranının araştırmacıların belirttiği minimum değerde (5 ton ha⁻¹) kabul edilmesi ile yapılan değerlendirmeye göre, 2015 yılı için belirlenen potansiyel biyokömürün Türkiye tarım arazilerinin % 4.1’i için (788 531 ha) yeterli olacağı saptanmıştır (Nadasa bırakılan alan dikkate alınmamıştır). Çalışmada öngörülen tarımsal ve hayvansal atıkların tamamının biyokömüre dönüştürüldüğü varsayıldığında, ülkemizdeki biyokömür dönüşüm potansiyelinin yeterlilik düzeyi

ortaya çıkmaktadır. Diğer bir ifadeyle, Türkiye tarım topraklarının, söz konusu atıklar değerlendirilerek biyokömür ile daha verimli hale getirilebilmesi için uygulamaların yıllarca sürdürülmesi gerekmektedir.

Gelişmiş ve gelişmekte olan bazı ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de, atmosferik karbonu toprağa bağlayan, gaz emisyonlarını azaltan ve toprakları

düzenleyen bir materyal olarak biyokömüre verilen önem ve farkındalığın artması kaçınılmaz olacaktır. Nadiren bu materyalin ve yararlarının farkında olan kişiler, kendi olanakları ile atıklarını biyokömüre dönüştürmeye çalışmakta, bunun için odun kömürü üretmek için kullanılan çukur, tümsek gibi eski yöntemlerden yararlanmaktadırlar (Şekil 1).



Şekil 1. Geleneksel kömür üretim fırınları. (a) Tuğla, (b) Tümsek, (c) Çukur, (d) Metal (Lehman ve Joseph, 2009)

Bu yöntemler ülkemizde odun kömürü üretimi için halen yaygın olarak kullanılırken, bazı ülkelerde tuğla (a) ya da metal (d) yapılar ile aynı prensiplerle de sürdürülmektedir (Tüfekçi, 2001; Lehman ve Joseph, 2009). Ancak son yıllarda biyokömürün özellikle toprakları düzenleyen bir materyal olma özelliği tanınmaya başlanmış ve odun kömürü elde etme amacının dışında da değerlendirilme eğilimi artmıştır. Bu yaklaşım ile kar amacı gütmeyen kişi ya da kuruluşların tarım yapan ailelere nasıl biyokömür üretecekleri konusunda bilgilendirme ve deneysel tarzda evdeki bidon, teneke ve atık malzemeyi nasıl biyokömür fırınına dönüştürebilecekleri konusunda hazırladıkları sosyal sorumluluk/biyolojik yaşam farkındalığı projeleri yaygınlaşmıştır. Bu sayede farkındalık kazanan insanlar, çeşitli malzemelerden bazı modifikasyonlar yaparak basit biyokömür fırınları yapmakta ve kullanmaktadırlar. İnsanlar çözümlerini sosyal medya aracılığı ile de paylaşmış ve benzer uygulamalar

yaygınlaşmaya başlamıştır. Şekil 2’de sözü edilen bazı biyokömür üretim çözümleri görülmektedir.

Bazı ülkelerde, oluşan bu farkındalık ile bazı kişi veya kuruluşların ticari olabilecek düzeyde tasarımlar geliştirerek biyokömür üretimi için çözümler sunma girişimleri de son yıllarda artmaya başlamıştır. Genellikle basit yapılı, küçük hacimli, sıcaklık, ısıtma hızı, basınç gibi parametrelerinin kontrol edilemediği ve dolayısıyla her biyokütle için ideal yavaş piroliz koşullarının sağlanamayacağı fırınlar kullanıcılara sunulmaktadır (Şekil 3).

Biyokömür üretiminin yanı sıra genellikle su ısıtma, yemek pişirme gibi ek özellikler de sunan bu ürünler, dünya üzerinde ticari olarak endüstriyel bir sektör haline gelerek yaygın anlamda üretilmemektedir. Ancak biyokömür üzerine farkındalığın artması ile yakın gelecekte, yeni yaklaşımların ilkel çözümlerin yerini alması kaçınılmazdır. Geliştirilecek olan daha yenilikçi çözümlerin dünya üzerinde ticari dolaşımı mümkün olacaktır.



Şekil 2. Sosyal sorumluluk projeleri ve biyokömür üretim çözümleri (Anonymous, 2016a; Anonymous, 2016b).



Şekil 3. Ticari amaçla üretilen biyokömür fırınları (Anonymous, 2016b; Anonymous, 2016c).

SONUÇ

Biyokömür ile ilgili Avrupa'da *The European Biochar Certificate* (EBC) ve *International Biochar Initiative* (IBI) olmak üzere önemli iki organizasyon bulunmaktadır. Her iki organizasyon da biyokömür üretiminden, biyokömür özellikleri ve kalitesi ile ilgili ölçütler belirlemişse de bu metodlar AB içinde herhangi bir ülkede ve Türkiye'de ulusal mevzuata henüz yansımamıştır. Diğer yandan, dünyanın birçok ülkesinde olduğu gibi ülkemizde de biyokömürün çeşitli araştırmacılar tarafından rapor edilen yararları bilim insanları tarafından etraflıca bilinmekte ve izlenmektedir. Ancak, toprak verimliliğinin ve toprakların organik madde içeriğinin iyileştirilmesi amacıyla hizmet eden bir ürün olarak biyokömür, bitkisel üretim faaliyetleri içerisinde bulunan kişiler ve kurumlar tarafından henüz yeterince tanınmamaktadır. Biyolojik atıklardan biyokömür üretimi ve toprağa uygulanmasının önemi üzerine farkındalığın artacağı dikkate alındığında, yüzölçümünün yarısından fazlası tarım ve orman alanlarından oluşan (%58) ve dolayısıyla yüksek biyokütle potansiyeline sahip olan ülkemizde, biyokömür üretimi ile ilgili çözümlere olan gereksinim ve taleplerin hızla artacağı öngörülmektedir. Sadece tarımsal ve hayvansal atıkların değerlendirildiği çalışmada ülkemizde bu amaç için kullanılabileceği gerçekçi yaklaşımlar ile belirlenen biyokömür üretim potansiyelinin, ülkemizin sahip olduğu tarım arazilerinin tamamına uygulama için yeterli olmadığı görülmüştür. Ancak Türkiye'de tarım işletmelerinin biyokömür üretme ve uygulama girişimlerinin, oluşacak farkındalık ile doğru orantıda artacağı düşünüldüğünde, belirlenen potansiyelin gelecek yılları kapsayan süreç içerisinde yeterli olacağı öngörülebilir. Türkiye'de biyokömür üretimine konu olabilecek tarımsal ve hayvansal atık potansiyelinin % 77'sinin hayvansal üretim atıkları kaynaklı olduğu belirlenmiştir. Ülkemizde katı atık yönetimi kapsamında yürütülmüş araştırmalar, hayvan gübresinin yanlış uygulamalar ile toprak verimliliğine ve çevreye verdiği zararlar ortaya konulmuştur. Tarımsal ve özellikle hayvansal atıklar kaynaklı biyokütlenin biyokömüre dönüştürülmesine yönelik çözümler odaklı çalışmaların yürütülmesi, ülkemizde genellikle sorun olarak görülen bu atıkların geri kazanımı ve yararlı hale dönüştürülmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Anonim, 2012. Enerji Raporu. Yayın No:1301-6318.
Anonim, 2013a. T.C. Enerji ve Tabii Kay. Bak., <http://www.enerji.gov.tr>. (Erişim: 20 Mayıs 2014).
Anonim, 2013b. Güney Marmara Bölgesi Yenilenebilir Enerji Araştırması Raporu. Yayın No:TR22.
Anonymous, 2011. Methods for Producing Biochar and Advanced Biofuels in Washington State. 11-07-017.
Anonymous, 2016a. Positive tools for carbon-negative living. <http://seachar.org/archives/380>. (Erişim Tarihi: 12.02.2016).

Anonymous, 2016b. Carbon Zero Experimental Biochar Kiln. <http://www.biochar.info/biochar/CarbonZero-Experimental-Biochar-Kiln.cfm>. (Erişim tarihi: 11.02.2016).
Anonymous, 2016c. The Biochar Revolution. <http://www.thebiocharrevolution.com/Store/stoves/tl-ud-gasifier-stove>. (Erişim tarihi: 10.01.2016).
Asai, H., Samson, B.K., Haefele, S.M., Songyikhangs, K., Homma, K., Kiyono, Y., Inoue Y., Shiraiwa, T., Horie, T. 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos. 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Res*, 111:81–84.
Başçetinçelik, A., Öztürk, H.H., Karaca, C., Kaçıra, M., Ekinci, K., Kaya, D., Baban, A., Güneş, K., Komitti, N., Barnes, I., Nieminen, M. 2005. Türkiye'de Tarımsal Atıkların Değerlendirilmesi Rehberi. Yayın No: 03 TCY/ TR /000061.
Bilandzija N., Voca, N., Kricka, T., Matin, A., Jurisic, V. 2012. Energy Potential of Fruit Tree Pruned Biomass in Croatia. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10(2):292-298.
Blackwell, P., Riethmuller, G., Collins, M. 2009. Biochar Application to Soil. (In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan, London, UK.) 207 p.
Brewer, C.E. 2012. Biochar characterization and engineering Graduate Theses and Dissertations. Iowa State University, 182p.
Bridgwater, A. 2007. IEA Bioenergy Update 27: Biomass Pyrolysis. *Biomass and Bioenergy*, 31:1-5.
Çanakçı M., Topakçı, M., Ağsaran, B., Karayel, D. 2010. Kuyruk Milinden Hareketli Budama Artığı Parçalama Makinasının Temel İşletmecilik Verilerinin Belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 16:46-54.
CEC, 2015. California Energy Commission. An Assessment of Biomass Resources in California. University of California, Davis, Consultant Report. March 2015, CEC-500-11-020. http://biomass.ucdavis.edu/pages/CBC_BiomassAssessmentReport.pdf.
Çağlar, A. 2004. Çay Atığının Katalitik Pirolizi: Sıvı Ürün Verimi Üzerine Katalizörlerin Etkisi. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 12(2) : 385-392.
Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., Joseph, S. 2007. Agronomic Values of Greenwaste Biochar as A Soil Amendment. *Australian Journal of Soil Research*, 45(8): 629-634.
Chan, K.Y., Xu, Z. 2009. Biochar: Nutrient properties and their enrichment. 67-84pp.
Chen G., Yu, Q., Sjöström, K. 1997. Reactivity of Char From Pyrolysis of Birch Wood. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 40(41):491-499.
DBFZ, 2011. Deutsches Biomasse Forchungs Zentrum. Ankara.
Demirbaş, A. 2004. Effects of Temperatures and Particle Size on Biochar Yield from Pyrolysis of

- Agricultural Residues. *Journal of Analytical Applied Pyrolysis*, 72:244-248.
- Demirbaş, A. 2006. Effect of temperature on pyrolysis products from four nut shells. *Journal of Analytical Application Pyrolysis*, 76: 285-289.
- Downie, A., Crosky, A., Munroe, P. 2009. Physical properties of biochar. *Science and technology*, 13-32pp.
- Gaskin, J.W., Speir, R.A., Harris, K., Das, K.C., Lee, R.D., Morris, L.A., Fisher, D.S. 2010. Effect of Peanut Hull and Pine Chip Biochar on Soil Nutrients, Corn Nutrient Status, and Yield. *Agronomy Journal*, 102:623-633.
- Gheorghie, C.B., Marculescu, C., Badea, A., Apostol, T. 2010. Pyrolysis Parameters Influencing The Bio-Char Generation From Wooden Biomass. *U.P.B. Sci. Bull., Series C*, 72 (1) : 29-38.
- GMKA, 2013. Güney Marmara Bölgesi Yenilenebilir Enerji Araştırması Raporu. Yayın No: TR22, Balıkesir.
- IEA, 2006. International Energy Agency, Annual Report - IEA Bioenergy. Task 34 Pyrolysis of Biomass. <http://www.ieabioenergy.com/DocSet.aspx?id=5566&ret=lib>. (Erişim Tarihi: 10.01.2015).
- Khor, K.H., Zainal, A.Z.A., Lim, K.O. 2009. Laboratory scale pyrolysis of oil palm pressed fruit fibres. *Journal of Oil Palm Research*, 21: 577-587.
- Laird, D.A. 2008. The Charcoal Vision: A Win-Win-Win Scenario for Simultaneously Producing Bioenergy, Permanently Sequestering Carbon, while Improving Soil and Water Quality. *Agronomy*, 100: 178-181.
- Lee Y., Park, J., Ryu, C., Ki Seop Gang, K.S., Yang, W., Park, Y.K., Jung, J. 2013a. Seunghun Hyun Comparison of biochar properties from biomass residues produced by slow pyrolysis at 500 C. *Bioresource Technology*, 148 (2013) 196-201.
- Lee, Y., Eum, P.R.B., Ryu, C., Park, Y.K., Jung, J.H., Hyun, S. 2013b. Characteristics of biochar from slow pyrolysis of Geodae-Uksae. 1. *Bioresour. Technol*, 130:345-350.
- Lehmann, J., Joseph S. 2009. *Biochar for Environmental Management*. ISBN: 978-1-84407-658-1.
- Lehmann, J., 2007a. A Handful of Carbon. *Nature*, 447:143-144.
- Lehmann, J., 2007b. Bio-energy in the black. *Front. Ecol. Environ*, 5:381-387.
- Lehmann, J., Gaunt, J., Rondon, M. 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems - a review Mitig. Adapt. Strat. Glob. Change, 11(2):403-427.
- Lliffe, R. 2009. Is the biochar produced by an Anila stove likely to be a beneficial soil additive. UKBRC Working Paper 4: UK Biochar Research Centre: Edinburgh, UK.
- Major, J., Lehmann, J., Rondon, M., Goodale, C. 2010a. Fate of soil-applied black carbon: downward migration, leaching and soil respiration. *Global Change Biol*, 16:1366-1379.
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S.J., Lehmann, J. 2010b. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and Soil*, 333:117-128.
- Ni M., Leung, D.Y.C., Leung, M.K.H., Sumathy K. 2006. An Overview Of Hydrogen Production From Biomass. *Fuel Processing Technology*, 87:461-472.
- Noor N.M., Sharrif, A., Abdullah, N. 2012. Slow Pyrolysis of Cassava Wastes for Biochar Production and Characterization. *Iranica Journal of Energy & Environment* 3: 60-65.
- Prost, K., Borchard, N., Siemens, J., Kautz, T., Séquaris, J.M., Möller, A., Amelung W. 2013. Biochar Affected by Composting with Farmyard Manure. *J. Environ. Qual*, 42:164-172.
- Rondon, M.A., Lehmann, J., Ramirez, J., Hurtado, M. 2007. Biological Nitrogen Fixation by Common Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Increases with Bio-Char Additions. *Biology and fertility of soils*, 43(6): 699-708.
- Şeflek A Y, Çarman K., Özbek O. 2006. Budama Atıklarının Parçalanmasında Kullanılan Makinanın Performans Değerlerinin İrdelenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 2(3): 219-224
- Shackley, S., Carter, S., Knowles, T., Middellink, E., Haeefe, S., Haszeldine, S. 2012. Sustainable Gasification-Biochar Systems, A Case-Study of Rice-Husk Gasification in Cambodia, Part II: Field Trial Results, Carbon Abatement, Economic Assessment and Conclusions. *Energy Policy*, 41:618-623.
- Sokchea, H., Borin, K., Preston, T. 2013. Effect of biochar from rice husks (combusted in a downdraft gasifier or a paddy rice dryer) on production of rice fertilized with biogas effluent or urea. *Livest. Res. Rural Dev.* 25(4). <http://www.lrrd.org/lrrd25/1/sokc25004.htm>. Erişim Tarihi: 23.01. 2013.
- Steiner, C., Teixeira, W. G., Lehmann, J., Nehls, T., de Macêdo, J. L. V., Blum, W. E., Zech, W. 2007. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant and soil*, 291(1-2), 275-290.
- Stoyle, A. 2011. *Biochar Production For Carbon Sequestration. A Major Qualifying Project Submitted to the faculty of Worcester Polytechnic Institute In partial fulfillment of the requirements for the Degree of Bachelor of Science in Chemical Engineering Worcester Polytechnic Institute.*
- Tiftik B.E., Yağmur, E., Şimşek, E.H., Toğrul, T. 2006. Çay Fabrikası Atığının Pirolyzi. Yedinci Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 5-8 Eylül, Eskişehir.
- Tüfekçi, S., 2001. Odun Kömürü ve Okalıptüs. *Odun Kömürünün Özellikleri. Doğu Akdeniz Ormancılık Araş. Müd. Doğa Dergisi*, 7 (1) : 1-15.

- TÜİK, 2016. Konularına Göre İstatistikler. <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=kategorist/>. (Erişim Tarihi:03.02. 2016).
- Verheijen, F.G.A., Jefferey, S., Bastos, A.C., van der Velde, M., Diafas, I. 2009. Biochar Application to Soils – A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions. EUR 24099 EN. Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Weyers, S.L., Liesch, A.M., Gaskin, J.W., Das, K.C. 2009. Earthworms Contribute to Increased Turnover in Biochar Amended Soils [abstract][CD-ROM].
- ASA-CSSA-SSSA Ann. Meet. Abs. ASA-CSSA-SSSA Ann. Meet.. Nov. 1-5, 2009, Pittsburgh.
- Williams, P.T., Besler, S. 1996. The Influence of Temperature and Heating Rate on the Slow Pyrolysis of Biomass. *Renewable Energy*, 7(3):233-250.
- Winsley, P. 2007. Biochar and Bioenergy Production For Climate Change Mitigation. *New Zealand Sci. Review*, 64: 5-10.
- Yılıgın M., Duranay, N.D., Pehlivan, P. 2005. Odunun Flash Pirolyzi. III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, 19-21 Ekim, Mersin.