

Biyokömür'ün bir Jeomühendislik Planı Olarak
Uygulanması Sonucunda İstenmeyen Sonuçları
olarak Fazla Karbon Emisyonlarını ve Toprak
Toksisitesini Değerlendirmek

Massachusetts Institute of Technology
Aralık 1, 2009

Yönetim Özeti

Endüstriyel devrimden sonraki yıllar boyunca, atmosferik karbon dioksit seviyeleri sürekli olarak artarak, küresel ısınmada bağlantılı bir artışa neden olmuştur. Küresel ısınmanın neden olduğu etkilerin bazılarını çare bulmak amacıyla, küresel ısınma sorununun çözümü için çeşitli jeomühendislik planları olası çözümler öne sürülmüştür. Bu jeomühendislik çözümlerinin büyük bir kısmı karbon bağlama (sequestration) teknikleri olarak sınıflandırılmıştır, bu arada jeomühendislik planları sıvılaştırılmış karbon dioksidi derin okyanusa enjekte etmekten, okyanusları, fitoplankton büyümesini uyarmak için demirle fertilize etmek gibi işlemlere kadar çeşitli planları içermektedir. Bu önerinin odak noktası biyokömür gömülmesi aracılığıyla karbon bağlanmasıdır. Biyokömür, piroliz (pyrolysis), ya da çok az oksijenle veya hiç oksijen olmasızın yanma yoluyla oluşturulan bir karbon formudur. Piroliz işlemi yüksek yoğunluklu bir karbon formu oluşturur, bu da yeraltına gömülme yoluyla karbonu uzaklaştırmada kullanılabilir. Biyokömür yoluyla karbon bağlamanın pratik bir uygulaması, çürüyen bitki materyalini biyokömüre dönüştürmek olabilir, biyokütleden yeniden atmosfere içerikteki karbonu salan doğal çürümenin yerine.

Ancak, fazlasıyla yeni bir jeomühendislik yöntemi olan, biyokömür'ün, bir karbon bağlama tekniği olarak küresel uygulamasından ortaya çıkabilecek beklenmeyen sonuçlar için test edilmesine gerek vardır. Bu durumda, bu önerim iki önemli beklenmeyen sonuç için tanımlama ve sınavı yapmaktadır: Geleneksel ocaklar ile biokömür üretimi sonucu ortaya çıkan kasıtsız karbon salınımları ve biokömürde bulunan kalıcı hidrokarbon içeriğine bağlı olarak ekin üretimini etkileyen toprak toksisitesi.

Dünya boyunca çok sayıda bölgede, çiftçiler biokömürü tuğla ya da kilden yapılmış geleneksel ocaklar kullanarak destekleyici bir gübre olarak üretmektedir. Bu ocakların ucuz ve yapılmaları kolay olmasına karşın, gaz formundaki piroliz yan ürününü (singaz olarak bilinir) saklamanın bir yolu yoktur. Singaz, dah sonradan atmosfere karışan ve zaten atmosferde bulunan aşırı miktarlardaki sera gazlarına eklenen karbon emisyonları bakımından zengindir. Geleneksel ocaklar aracılığıyla biyokömür üretiminin oluşturduğu karbon salınımlarının miktarını değerlendirmek için özenli bir deney yapılmalıdır.

Ek olarak, piroliz sürecinde hidrokarbonlar doğal olarak üretilmektedir ve yanma esnasında genellikle ticari piroliz makineleri tarafından yakıt olarak toplanan sıvı formda açığa çıkmaktadır. Ancak, piroliz esnasında, hidrokarbonlar katı kömürden piroliz sırasında tamamen ayrılmayabilir, ve biyokömürde bulunan ve toprakla birleşen kalıcı hidrokarbon ekin üretimine zarar verebilir. Bu ciddi implikasyonlara neden olur çünkü gömülmüş biyokömür

içeren bir alan kùltivasyon için elverişsiz duruma gelebilir. Küresel olarak, bu biyokömür gömülmesini karbon bağlamanın pratik olmayan bir yöntemi haline getirebilir, çünkü dünya çevresinde yekpare toprak alanlarını sadece biyokömür gömülmesi için kullanılması gerçekçi değildir.

Deneylemizim sonucunda, yanma sırasında oluşan fazladan karbon salınımları nedeniyle geleneksel ocakların biyokömür üretimi için pratik olmadığını öngörüyoruz. Ek olarak, düşük seviyede kalıcı hidrokarbon içeren biyokömürün toprak toksitesi üzerinde en az etkiye sahip olacağını düşünebiliriz ki bu da ekin üretkenliği ile ölçülebilir. Bu sonuçlara dayanarak, kirliliği azaltmak ve biyokömürdeki en düşük kalıcı hidrokarbon seviyesi için optimize etmek için ticari piroliz makinelerinin kullanımını öneriyoruz. Bu iki kasıtsız sonucu sınyarak, biyokömürü bir küresel karbon bağlama tekniği olarak uygulamanın seçeneklerini incelemeye başlayabiliriz.

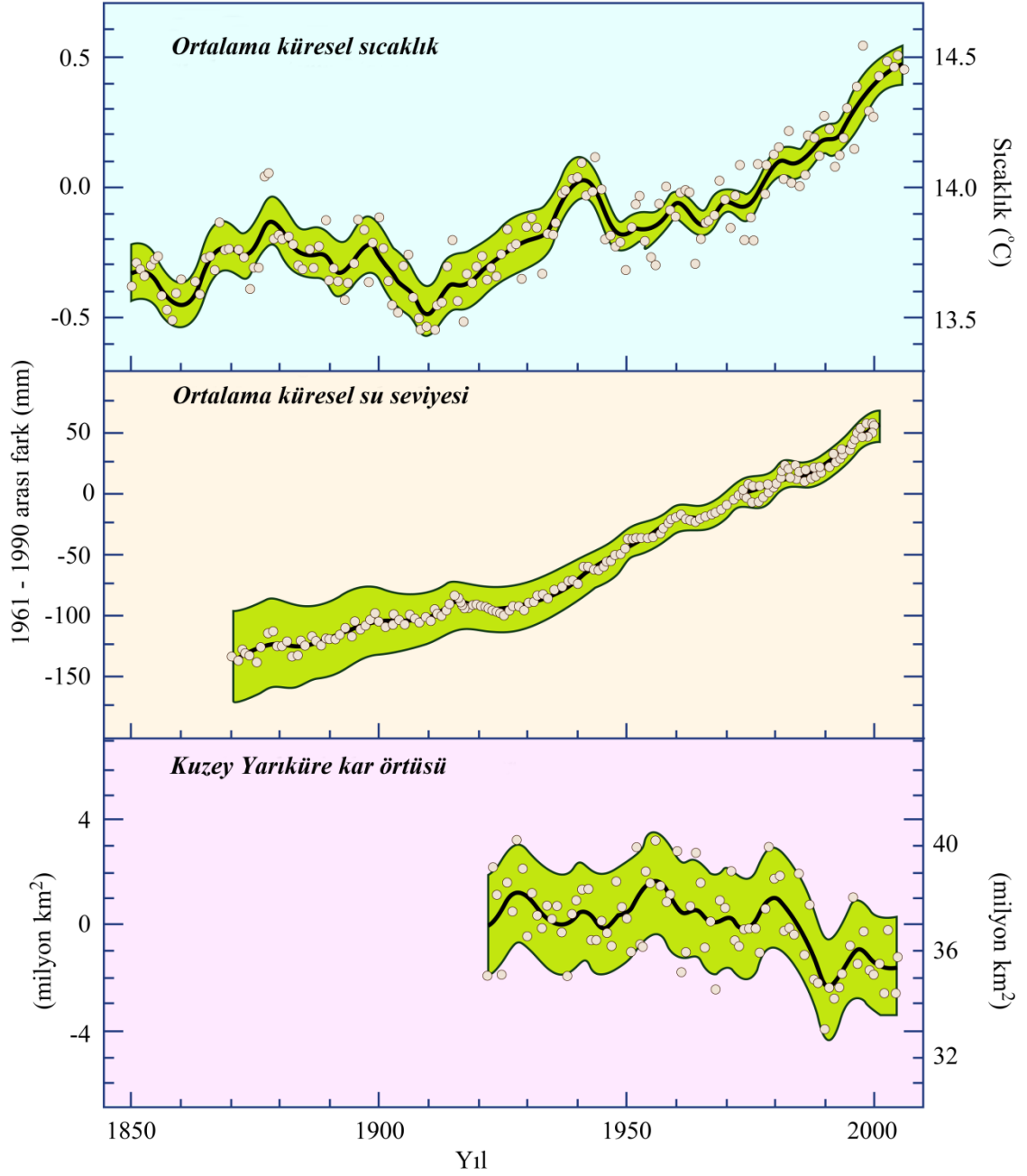
Küresel Isınma, Jeomühendislik ve Karbon Bağlama Stratejisi Olarak Biyokömürün Kullanımına Giriş

Küresel Isınma

“İklim sisteminin ısınması ” kaçınılmazdır, küresel ortalama hava ve okyanus sıcaklılarındaki artışların, kar ve buzulların geniş ölçekli erimesi ve ortalama deniz seviyesi yükselmesi gözlemlerinden belli olduğu gibi.” IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişimi Paneli) bu ciddi uyarıyı 2007 Siyasetçiler (Policymaker) için Özet dökümanında yapmıştır (IPCC, 2007, p. 4). Bu üç etken arasındaki birbirine bağlantı özellikle etkilidir: son otuz yıl içinde, kar örtüsü azalmaktadır, bu arada küresel deniz seviyesi 1910’dan beri süren küresel sıcaklıktaki sürekli artış ile uygun biçimde yaklaşık 70 yıldan artmaktadır (Şekil 1).

Buzul uzunluğundaki azalma ve sıcaklıktaki bir artış arasındaki bağlantı yükseklik ve kıttadan bağımsız olarak, dünya çevresindeki 169 buzulda gösterilmiştir (Oerlemans, 2005). TOPEX-Poseidon uydu teknolojisini 1993’den 2003’e kadar deniz seviyesindeki artışı incelemek için kullanarak, bilim insanları deniz-seviyesi artışını yılda 3.1 mm olarak ölçmüştür, bu da bir önceki on yıllarda %50 ya da daha fazla artış göstermiştir, 1 den 2 mm’ye kadar değişim göstermiştir (Cazenave ve Nerem, 2004). Sıcaklık artışını biraz daha irdelersek, volkanik aerosoller ya da güneş ışınımı gibi doğal güçlerin üzerinde

antropojenik gazlar (karbon dioksit gibi sera gazları) küresel sıcaklıktaki artışın gerçek uzun-vadeli sorumluları olarak gösterilir (Şekil 2).



Şekil MIT OpenCourseWare'e aittir

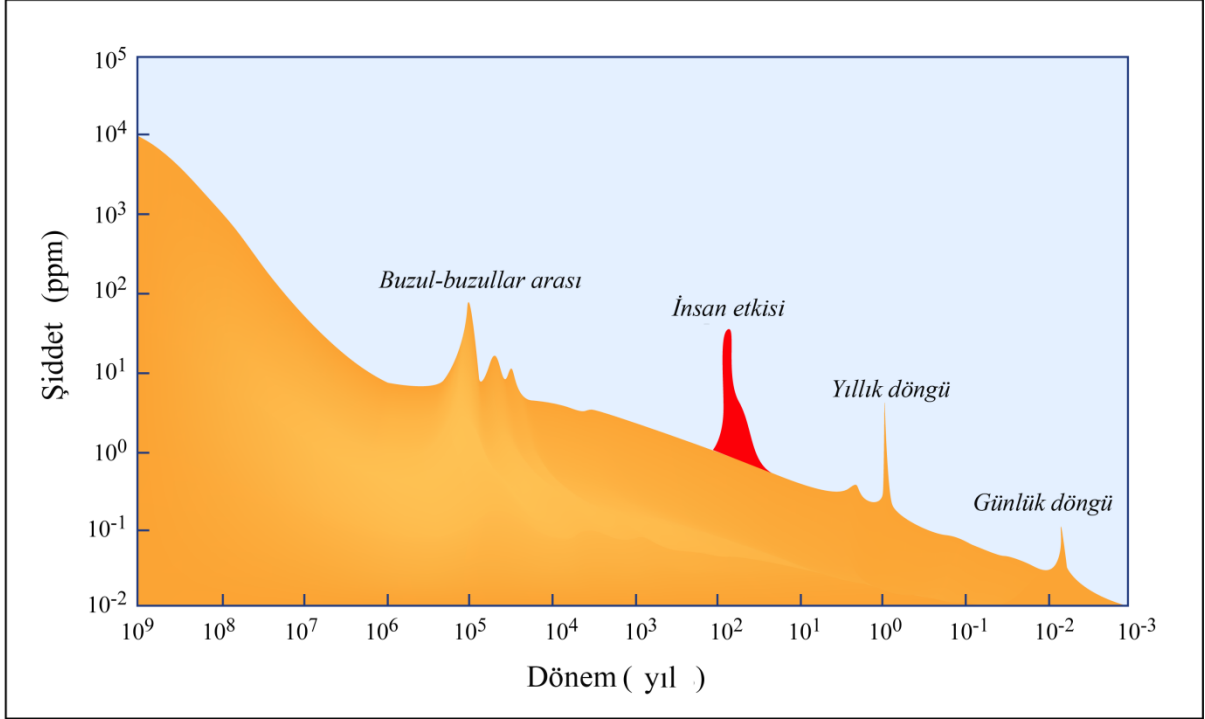
Şekil 1. (a) Küresel ortalama sıcaklık, (b) küresel ortalama deniz seviyesi, ve (c) Kuzey Yarıküre kar örtüsündeki gözlemlenen değişiklikler. (a) ve (b) de, küresel ortalama sıcaklık ve küresel ortalama deniz seviyesinde bir artış görüyoruz, (c) Kuzey Yarıküre'deki kar örtüsündeki bu duruma uygun bir azalma ilse birlikte (IPCC, 2007, p. 17).

**Şekil telif hakları kısıtlamasından
dolayı çıkarılmıştır**

Şekil 2. Bu grafik (a) El Nino-Güney osilasyonu (ENSO) (b) Volkanik Aerosoller, (c) Güneş Radyasyonu, ve (d) Anthropojenik Güçleri [sera gazlarını (GHClcr), troposferik aerosoller, ve kara yüzey ve kar albedo bileşenlerini içermektedir] 1900'den 2000'e kadar aylık ortalama küresel sıcaklıklara katkılarını irdelemektedir. Sağ-el vertikal eksen her kategori için asıl ölçümleri gösterirken, sol-el eksen beklenen standartlardan dalgalanmaları göstermektedir (0.0). Gri çizgiler 1900'den 2000'e kadar uzun-vadeli trendleri göstermektedir, buda ENSO ve Volkanik Aerosollerin aylık ortalama küresel sıcaklıklara belirgin biçimde katkı yapmadığını göstermektedir, bu arada solar radyasyon minör bir rol oynarken antropojenik güçler majör bir rol oynamaktadır (Lean ve Rind, 2008).

Atmosferik karbon dioksitteki bu tip bir artış beklenmeyen bir durumdur, Antarktika'daki Vostok Gölün'den buzul çekirdeği örnekleminde gösterildiği gibi (Şekil 3). Karbon dioksit konsantrasyonunun büyüklüğünün değişimin zaman periyoduna karşı grafiği çizildiğinde, onyılyüzyıl zaman genişliğinde insan etkisine bağlı olarak karbon dioksit konsantrasyonlarında keskin bir artış görmekteyiz, bu arada buzul-buzularası hareketleri ile ilişkili karbon dioksit değişimleri 10^5 yıllık bir zaman ölçeğinde dağılım gösteren bir büyüklük

değişimine yol açmaktadır (Falkowski et al., 2000). Gerçekten de, küresel atmosferik karbon dioksit konsantrasyonu, Sanayi Deviminin başlangıcından önceki (~1750) 280 ppm'den 2006'da 381 ppm'e yükselmiştir., işaretlenmiş %36'lık bir artışı göstermektedir (Canadell et al., 2007).



Şekil MIT OpenCourseWare'e aittir

Şekil 3. Değişimin gerçekleştiği sırada, atmosferdeki karbon dioksit derişimi değişiminin zamana karşı grafiklenmesi, Vostok Gölü buzul çekirdeği örneklemelerinden alınmıştır. Karbon dioksit derişimine insan etkisinin işaretlenmiş etkilerinin onyıldan yüzyıla kadar bir ölçekte gerçekleştiğine dikkat edin, bu arada buzul-arası değişimleri binlerce yıllık bir periyod boyunca dağılım göstermektedir (Falkowski et al., 2000).

Bu yüzyıl içinde belirgin ilgi uyandıran yükselen karbon dioksit seviyelerinin yol açtığı küresel ısınmaya bağlı bir ana sosyal ima, alçak bölgelerdeki ada devletlerinin yükselen deniz seviyelerine bağlı olarak ortadan kaybolmasıdır. Çalışmalar göstermiştir ki, kutup buzullarının hızlı yıllık erimesi

göz önünde bulundurulduğunda, okyanus yüzeyinden birkaç metre yukarıda bulunan ada devletlerinin tümünden ortadan kaybolması yüksek derecede olasıdır. Örneğin, Maldivler ada devleti deniz seviyesinde artışa aşırı derecede duyarlıdır, tüm ülke deniz seviyesinin 5 metre üstünden daha az yüksekliktedir (Pelling ve Ullito, 2001). Öngörölmüş 3-5 metre küresel deniz-seviyesi artışlarına bağı gelecekteki Grönland ve Batı Antarktik buzul örtülerinin parçalanması ile birlikte (Dasgupta et al., 2009), Maldivler ülkesi, eğer küresel ısınmanın bu buzul rezervlerinin erimesine katkıda bulunmasıyla birlikte tamamen dünya üzerinden silinebilir.

Küresel ısınmadaki artış aynı zamanda ekolojik imalara (implication) sahiptir, fauna ve floranın kutup yönüne doğru göçü, göçebe türlerin göç mevsimindeki değişimler, ve hayvanların üreme sezonundaki değişimler gibi (Walther et al., 2002). Bu etkinin mantıklı bir iması türlerin ortadan kalkmasıdır, ada ekosistemlerinde yaşayan türlerin örneğinde görüldüğü gibi – eğer türler, iklim değişiminin yol açtığı ekosistem kaymasına bağı olarak kuzey yada güney kıyı hattına ulaşırlarsa ve yayılacak başka bir yer yoksa, türlerin soyu açıkça yok olabilir.

Jeomühendislik

Keith (2000) jeomühendislik konseptini “çevrenin kasıtlı olarak geniş-ölçekli manipülasyonu, özellikle istenmeyen antropojenik iklim değişimini azaltmayı amaçlayan manipülasyonlar” olarak tanımlamaktadır. Planların jeomühendislik

olarak vasıflandırılması için, ancak, Keith üç önemli elemanı tanımlamaktadır – ölçek, amaç, ve manipulasyon. Amaca sahip fakat ölçeye dahil olamayan bir sonuç (süs bahçeciliği) ve amaçsız ölçeye (sanayiye bağlı olarak atmosfere karbon dioksit) sahip bir sonuç jeomühendislik planları olarak sınıflandırılmaz. Son olarak, jeomühendislik hafifletmekten daha ileri gitmelidir. Jeomühendisliğin bir alt seti olmayan hafifletme teknikleri (Wigley,2006), mevcut uygulamaları geliştirmektedir (endüstriyel tesislerin karbon dioksit emisyonlarını azaltarak), ancak yeni çevresel çözümler getirme yoluyla doğrudan manipule etmemektedir. Örneğin, karbon bağlama teknikleri (plankton büyümesini, okyanuslara demir ekleyerek uyarmak, tuzlu yer altı su katmanlarına karbon dioksit enjekte ederek) jeomühendislik olarak sınıflandırılırken, enerji santralleri tarafından salınım seviyelerinin küresel olarak azaltılması sadece hafifletme olarak sınıflandırılabilir.

1992’de National Academy of Science tarafından basılan sera ısınması üzerine rapor, “güneş ışığı perdelemesi” (albedo modifikasyon teknikleri), “okyanus biyokütle stimülasyonu” (okyanus fertilizasyonu), ve atmosferik kloroflorokarbonların uzaklaştırılması jeomühendisliğin altındaki dört alt-alan olarak sınıflandırılmaktadır. Albedo teknikleri Dünya’nın albedosunu arttırmayı hedeflemektedir, bu şekilde güneş ışığı uzaya geri yansıtılacaktır. Diğer üç teknik atmosferde bulunan sera gazlarının miktarını azaltmayı hedeflemektedir, ya ormandaki ağaçlarda, fotosentetik planktonlarda bağlama ya da atmosferik

kloroflorokarbon partiküllerinin lazerle yok edilmesi yoluyla (Committee on science, Engineering, and Public Policy (U.S.), 1992).

Lal'in (2008) atmosferik karbon dioksit için bağlama teknikleri, mevcut uygulamaların bir derlemesini sunmaktadır, bu derleme yöntemleri üç kategori altında sınıflandırmaktadır: sucul ekosistemler yoluyla bağlama, karasal ekosistemler yoluyla bağlama ve jeomühendislik teknikleri. Lal jeomühendislik teknoloji üzerine kısıtlayıcı bir tanım getirmektedir, jeomühendisliği sınıvlandırılmış yakalanmış karbon dioksitin jeolojik formasyonlar içerisinde (tuzlu yer altı su katmanları ya da bazalt) ya da okyanus yüzeyinin altına enjekte edildiği karbon-yakalama teknikleri ile sınırlamaktadır. Düşünülen karasal yöntemler yeniden ormanlaştırma, okyanus fertilizasyonu ve toprakta bağlama (koruma ekinlemesi (conservation cropping) ya da biyokömür uygulanması yoluyla). Son olarak, sucul teknikler, sulak alanlar ya da mangrovlar gibi sucul sistemlerde karbon içeriğinin geliştirilmesine odaklanmaktadır (Şekil 4).

**Şekil telif hakları kısıtlamasından
dolayı çıkartılmıştır**

Şekil 4. Figür grafiksel olarak karbon bağlamada kullanılan mevcut yöntemleri göstermektedir, jeomühendislik planları ve sucul ve karasal ekosistemlerde bağlamaya kadar detaylanmıştır. Ancak Lal biyokömür gömülmesini bir jeomühendislik planı altında listelememektedir, biyokömür bu figürde “yer biyokütlesinin” altında kategorize edilmiştir, “biota” ve “karasal ekosistem” altında (Lal, 2008).

Jeomühendislik teknolojilerinin altında yatan ana sorunlar masrafı, fizibilitiyi ve istenmeyen sonuçları içermektedir. Bir uzay aynasının kurulması, gelen güneş ışığını tekrar uzaya yansıtarak küresel ısınmayı durduracak bir yol olarak önerilmiştir. Ancak, mevcut teknoloji henüz bu hamleye izin verecek bir durumda değildir ve masrafların astronomik olacağı kesindir. Bir çalışma dünyadaki en büyük 100 metropolitan şehrin çatısının boyanmasının, 40 gigaton karbon dioksidin uzaklaştırılmasına denk bir atmosferik etkiye sahip bir etkiyi tetikleyeceğini belirtmiştir, küresel albedodaki artışa bağlı olarak (Akbari ve Menon, 2008). Ne olursa olsun, bu önerimin fizibilitesi yaygın uluslar arası işbirliği, ulusal hükümetler arası diyalog ve vatandaş eylemciliği gerektirmektedir. Son olarak, okyanus fertilizasyonunun fizibilitesinin geniş olarak çalışılmasına rağmen, teknoloji hiçbir zaman geniş bir ölçekte oturtulmamıştır, çevreye istenmeyen geri dönüşsüz zararlarının korkusu nedeniyle (Chisholm et al., 2001; Cullen and Boyd, 2008).

Biyokömür Gömülmesi yoluyla Karbon Bağlanması

Biyokömürün (biyokütleden piroliz yoluyla elde edilen kömür ya da karbon) toprağa eklenmesi karasal ekosistemlerde uzun-vadeli bir karbon gideri oluşturmaktadır (Lehmann et al., 2006). Biyokömür biyokütlenin piroliz yoluyla üretilmesi sonucu oluşmaktadır, oksijenin yokluğundaki bir ısıtma süreci (ya da

küçük miktarda oksijenin var olması durumundaki kısmi yanma) (Bridgewater, 2003).

Biyokömürün, karbon bağlamasına olası bir uygulama olarak keşfedilmesi, Amazon ormanlarının koyu renkli “terra preta” topraklarından kaynaklanmaktadır. Araştırmacılar, terra preta toprağının normal toprağa oranla 2.7 kata kadar daha fazla organik karbon içerdiğini keşfetmiştir, bu da yüksek siyah-karbon içeriğine bağlanmaktadır (Glaser et al., 2001). Siyah karbon, bir orman yangınından sonraki yanmış kalıntılardan oluşur ve 1996’dan beri atmosferik karbon dioksit için bir gider olarak tartışılmaktadır (Kuhlbusch et al., 1996).

Normal fotosentezde, bitkiler atmosferden karbon dioksidi uzaklaştırır ve karbonu biyokütle ile fotosentez yoluyla birleştirirler. Ancak, bir çürüdüğünde ya da yandığında karbon dioksit atmosfere geri döner. Biyokömürü bir bağlama tekniği olarak kullanmanın öncülü bitki materyalinden gelen karbonun bir kısmının piroliz süreci yoluyla yüksek-verimli karbon maddesine dönüşmesinden gelmektedir (biyokömür), bu da yer altında saklanabilir ve karbonun yeniden atmosfere karışması riskine sahip değildir. Ek olarak, piroliz sırasında üretilen enerji değerlendirilebilir ve biyoenerjinin karbon-neutral’i olarak geri dönüştürülebilir (enerji açığa çıkışı sırasında atmosfere ek karbon dioksit salan, fosil yakıtın yakılması ile karşılaştırın) (Şekil 5).

Genel olarak, bilim insanları var olan ormanları karbon bağlaması amacıyla biyokömüre dönüştürmeyi desteklememektedir. Bunun yerine, bilim insanları biyokömür uygulaması için şu üç konuyu desteklemektedir: kömür artığını biyokömür olarak kullanan, ve bitki döküntüsünü biyokömüre dönüştüren, “slash-and-char” tarım yönteminin adapte edilmesi (Lehmann et al., 2006). Tarlaların açılması sırasında, geleneksel çiftçiler genellikle büyüyen bitkileri kaldırarak ya da yakarak (“kes ve yak”) alan açmaktadır, bu da havaya kontrolsüz bir karbon dioksit karışmasına neden olmaktadır. Tarladan alındıktan sonra bitki materyalinin standart bir ocakta pirolizi yoluyla (“kes ve kömür” (slash-and-char)), karbonun %50’si biyokömürde bağlanabilir, bu da karbonun atmosfere yeniden salınmasını engeller (Lehmann et al., 2002). Ek olarak, pişirme ve sanayi tesisi atığından (kütük endüstrisi ya da kağıt değirmenleri) ocaklar yada piroliz aletleri yardımıyla biyokömüre dönüştürülebilir (Lehmann et al., 2006).

Uluslar Arası Biyokömür İnsiyatifinin tahminlerine göre, biyokömür teknolojisi 2030 yılına kadar çeyrek gigaton karbonu kaldırabilir. Daha agresif yöntemlerle daha optimistik tahminleri alırsak, insanlar bu figürü 2050 yılında bir gigatona getirebilir (Uluslar Arası Biyokömür İnsiyatifi, 2009).

**Şekil telif hakları kısıtlamasından
dolayı çıkarılmıştır**

Şekil 5. Şematik standart karbon döngüsü (atmosferden %0 net karbon uzaklaştırılması) ile karbon bağlaması için biyokömür eklenmesi (atmosferden %20 net karbon uzaklaştırılması) ile olan karşılaştırmayı göstermektedir. Atmosferden net karbon uzaklaştırılmasındaki bu farklılık biyokömürün potansiyel olarak atmosferik karbonu bağlamak için bir yöntem olarak kullanılabileceğini göstermektedir (Uluslar Arası Biyokömür İnsiyatifi, 2009).

Lal'in (2008) biyokömürü kendi karbon bağlama teknikleri değerlendirmesinde bir jeomühendislik tekniği olarak kategorize etmemesine rağmen, biyokömür uygulanması halen Keith (2000) tarafından sunulan üç kriter sağlandığı durumda bir jeomühendislik tekniği olarak düşünülebilir. Biyokömürü karbon bağlama için kullanmak atmosferik karbon seviyesini azaltmaya hedefli dinamik bir yaklaşım getirmektedir, manipulasyon kriterini gerçekleştirerek. Diğer iki anahtar nokta ise ölçek ve amaçtır, bu da biyokömürün karbon bağlama amaçları için uzun-vadeli çok-ülkeli, küresel

uygulaması ile gösterilebilir. Takip eden tartışmanın amaçlarını takip için, bu öncelikler varsayılacaktır.

Biyokömürün Olası Negatif Etkileri

Bazı bilim insanları biyokömürü karbon dioksit salınımlarına karşı geliştirilen her derde deva bir çözüm olarak görmektedir. Biyokömür araştırmalarının en güçlü savunucularında bir tanesi olan Johannes Lehmann, büyük umutlar içerisinde “eğer biyokömür küresel boyutta uygulanabilirse, salınım problemini bir iki yılda sonlandırabiliriz” şeklinde ifade vermiştir (Abend, 2008). Kopenhag İklim Kurulu başkanı Tim Flannery “Yavaş pirolize olan biyokömür diğer önerilen her şeyden [atmosferde bulunan karbon deposunu azaltmak için] daha üstün bir çözümdür” diye konuşmuştur (Abend, 2008).

Biyokömür teknolojisinin bu kadar heyecana yol açması, üretilen her 100 kg biyokütle için 25 kg karbonun biyokömür şeklinde tutuluyor olmasından ileri gelmektedir. Bu, %88'i kararlı karbon olarak tutulan 91.5 kg'lık karbon dioksiti temsil etmektedir (Day et al., 2005). Steinbass et al. (2009) karbonun biyokömür içerisindeki kalıcılık süresinin 4 ila 29 yıl arasında olduğu hesaplayarak biyokömürün karbon deposu olarak etkinliğini ortaya koymuştur. Biyokömürün sera gazlarını tutma kapasitesine gelince, Rondon ve Lehmann (2005) soya fasülyesi içeren kaplara odun kömürünün eklenmesi sonucunda çıkan metan gazının tamamının, nitrik oksit akısının ise %50 ila 80 arasındakinin tutulduğunu belirlenmiştir. Biyokömür aynı zamanda tarımsal üretkenliği de geliştirebilir. Biyokömür nitrojence yoğunlaştırılmış gübre ile birlikte kullanıldığında, nitrojen özümleme etkinliğini maksimize ederek tarımsal hasatı artırır (Chan et al., 2007).

Fakat halen sürmekte olan araştırmalarda bir takım açıklıklar bulunmaktadır. Biyokömür uygulamalarının jeomühendislik tasarısı olarak kabul edilebilmesi için en önemli parametre ölçek unsurudur. Hali hazırda, piroliz yoluyla türetilen

biyokömür ticari piroliz makinelerinde üretilmekte olup bu makineler oldukça pahalıdır (örn. 100.000\$) ve özelleşmiş firmalar tarafından üretilmektedir (Austin, 2009). Dolayısıyla, bu makinelerin dünyanın her yerinde bulunabilmesi mümkün görünmemektedir. Biyokömür aynı zamanda çukur ocak, kiremit ocak ve taşınabilir metal ocak gibi geleneksel piroliz makineleri ile de üretilir. Fakat bunların hepsi biyokömür üretimi sırasında ek miktarda karbon salınımına yol açtığı için problemlidir (Lehmann and Joseph, 2009). Ticari piroliz makineleri piroliz süreci boyunca üretilen gazları (sentetik gazları) enerji kaynağı olarak hasatlar. Fakat geleneksel ocaklar sentetik gazları geri kazanmazlar. Biyokömür bu geleneksel yöntemler ile üretildiğinde salınan yüksek miktarlardaki karbon gazları biyokömür tarafından sağlanan karbon sekastrasyonunun olası pozitif etkilerini ortadan kaldırmaya yeter. Dolayısıyla salınan gazların olası ters etkilerini ortaya koyabilmek için geleneksel yöntemlerle üretilen biyokömürün dikkatlice incelenmesi gerekmektedir.

Sentetik gazların yanı sıra pirolizin bir başka yan ürünü de biyo-petroldür. Biyokütlenin ısıtılması esnasında biyokütle içerisinde yer alan karbon kademeli bir şekilde serbest bırakıldıkça, katı kömür miktarı azalır (Emmons and Atreya, 1982). William and Besler (1996), biyokütle ısıtma sisteminde sıcaklık arttıkça çıkan sıvı ürününde buna paralel bir artış gösterdiğini ortaya koymuştur. Dolayısıyla, günümüzde biyo-petrol olarak bilinen sıvının biyokütle içerisinde yer alan hidrokarbon moleküllerinin buharlaşması sonucunda oluştuğunu öne sürmüşlerdir. Biyo-petroller zengin karbon içeriklerinden dolayı enerji kaynağı olarak kullanılabilirler (Mohan et al. 2006). Kimyasal olarak biyo-petrol selüloz ve hemiselülozun pirolizi sırasında biyokütlenin odun kömürüne dönüştürülmesi esnasında ortaya çıkar (Piskorz et al., 1986). Piroliz sonrası biyokömürde kalan hidrokarbon miktarı oldukça değişkendir ve karbonun ne kadarının biyo-petrole dönüştüğüne bağlıdır. Toprakta yer alan artık hidrokarbon zehirli olduğundan dolayı (Alexander, 1995), biyokömürün geniş ölçekli uygulanması için toprak zehirliliği üzerindeki etkilerinin araştırılması

gerekmektedir. Bu hipotez biyokömürün bir toprak demetine uygulanması ve uygulamanın yapıldığı alandaki ürün verimliliğine bakılması ile ölçülebilir.

Bu tartışmalar, geniş ölçekli biyokömür uygulamasının iki beklenmeyen sonucunu gözler önüne sermiştir – geleneksel ocaklar yoluyla üretilen biyokömür sonucunda salınan artık karbon dioksit ve üretilen biyokömürün içerdiği artık hidrokarbonların toprak zehirliliği üzerine etkileri. Bu etkilerin ortaya konması önemlidir çünkü biyokömür üretimi sonucunda ortaya çıkan artık karbon dioksit salınımları üretilen biyokömürden elde edilecek olası karbon sekastrasyonunun pozitif etkilerini ortadan kaldırmak için yeterli olabilir ve biyokömürdeki artık hidrokarbonun yol açtığı toprak zehirliliği biyokömür gömülmüş olan bir alanın tarımsal verimliliğini yok edebilir. Bu son nokta özellikle önemlidir çünkü günümüzde yeterli miktarda besin kaynağı üretmekte yaşanan zorluklar (von Braun, 2007) göz önüne alındığında verimli alanları biyokömür gömme sahaları haline getirme lüksümüz yoktur.

Bunlara ek olarak ticari (modern) piroliz makineleri ile geleneksel ocaklar arasındaki farklar Çizelge 1’de verilmiştir. Günümüzde, geleneksel ocaklar ticari piroliz makinelerine göre çok daha yaygındır ve daha çok kullanılmaktadır. Fakat, geleneksel yolla üretilen biyo-kömürün içerdiği sentetik gazlar, biyo-petrol ve artık hidrokarbonlarla ilgili ciddi endişeler bulunmaktadır.

Çizelge 1. Ticari (modern) Piroliz makineleri ile Geleneksel Ocaklar arasında Karşılaştırma

| | Ticari (Modern) Piroliz Makineleri | Geleneksel Ocaklar |
|--|---|---------------------------------|
| Üretilen Sentetik gazlar (örn. Karbon gazları) | Yakıt olarak geri-dönüştürülür veya kimyasal olarak işlenir | Havaya salınır |
| Üretilen Biyo-petrol | Yakıt olarak hasatlanır | Atılır |
| Biyokömürdeki artık hidrokarbon içeriği | Isınma derecesini ve maksimum sıcaklıkların kontrol edilmesi ile denetlenebilir | Tam olarak denetlenemez |
| Üretim Maliyeti | Çok yüksek | Maddeler yerel olarak mevcuttur |
| Yaygınlık | Maliyetten dolayı oldukça kısıtlı | Birçok ülkede bulunur |

Önerilen Hipotez

Karbon sekastrasyonu için biyokömürün kullanılmasının yol açabileceği olası zararlı etkiler üzerinde henüz detaylıca çalışılmamıştır. Bu gibi bir çalışmanın iki amacı vardır (Şekil 1). İlk olarak ticari piroliz makinelerinden ve geleneksel ocaklardan çıkan karbon salınımları ölçülecektir. İkinci olarak farklı ısıtma oranları ve maksimum sıcaklıklar kullanan farklı yöntemler altında üretilen biyokömür içerisindeki hidrokarbon miktarı belirlenecek ve sonra biyokömürün toprak zehirliliği üzerindeki etkisi ortaya konacaktır. Bu amaçlar şema halinde verilmiştir (Şekil 6):



Şekil 6. Bu şema bizim biyokömürü jeomühendislik tasarısı olarak küresel boyutta uygulanması sonucunda ortaya çıkabilecek iki beklenmeyen sonuç olarak belirlediğimiz biyokömür üretimin karbon salınımlar üzerindeki etkisi ve biyokömürdeki artık hidrokarbon içeriğinden kaynaklanan toprak zehirliliği ölçmek üzere kurgulanmış deneysel tasarısı göstermektedir.

Birinci amacımızla ilişkili olarak öngörümüz geleneksel (sentetik gaz döngü sistemleri olmayan) ocakların, üretilen biyokömür tarafından sekestre edilecek karbon miktarını neredeyse tamamen boşa çıkaracak derecede karbon salınımlarına neden olacağıdır. Bunun yanında sentetik gaz döngü sistemlerine sahip ticari hidroliz makinelerinin biyokömür yoluyla karbon sekastrasyonunu geçerli kılacak şekilde minimal seviyelerde karbon salınımlarına neden olacağını varsaymaktayız.

İkinci amacımıza ilişkin olarak ise farklı sıcaklıklarda ve ısıtma derecelerinde oluşturulan biyokömürlerin hidrokarbon içerikleri belirlendikten sonra, farklı biyokömür örnekleri tropikal toprak parçalarına yerleştirilerek eklenen biyokömürün yol açtığı toprak zehirliliği ölçülecektir. Beklentimiz, düşük seviyelerde hidrokarbon konsantrasyonlarına sahip biyokarbon içeren alanlarda, toprak zehirliliğinin daha düşük olacağıdır. Dolayısıyla hidrokarbon

miktarındaki fazlalık bir jeomühendislik tasarısı olan biyokömür gömülümünün uygulanması yönündeki en önemli engeli oluşturmaktadır. Eğer hidrokarbon fazlalığı ile hidrokarbon kaynaklı toprak zehirliliğinden ileri gelen düşük hasat arasında bir ilişki var ise artık hidrokarbon içeriğinin çok yüksek olması durumunda biyokömürün küresel ölçekte uygulanması geçerli olmayabilir.

Deneysel Tasarı

Biyokömürün jeomühendislik tasarısı olarak uygulanmasının doğurabileceği beklenmedik etkiler daha küçük üç farklı deney şeklinde analiz edilebilir: karbon salınımların analiz edilmesi, hidrokarbon içeriğinin analiz edilmesi ve toprak zehirliliğinin analiz edilmesi. Her ne kadar hidrokarbon içeriğinin analizi biyokömür uygulamasının beklenmeyen sonuçlarını doğrudan ele almasa da, toprak zehirliliği deneyine öncülük yapan anahtar bir unsurdur ve kendine özgü bir deneysel düzeneği gerektirmektedir.

Geleneksel Ocakların ve Piroliz Makinelerinin Karbon Salınımlarının Analiz Edilmesi

Bu deneyde geleneksel ocaklar ve modern piroliz makinelerinde üretilen biyokömür sonucunda ortaya çıkan karbon salınımları karşılaştırılacaktır. Geleneksel ocaklar piroliz reaksiyonu sırasında serbest kalan sentetik gazları geri dönüştürmez ve ortaya çıkan karbonca zengin gaz biyokömürün hasatlandığı piroliz döngüsü sonrasında atmosfere salınır. Modern piroliz makineleri sentetik gazları yakalayarak ya gazı katalizleyerek kimyasal temizleme yoluyla işler (Austin, 2009) ya da yakıt hücreleri gibi sistemlerde kullanmak üzere enerji kaynağı olarak geri dönüştürür (Arni et al., 2009). Sentetik gazları geri dönüştüren prosedürleri kullanan modern piroliz

makinelerinin çoğu sıfıra yakın salınımda buldukları için ölçümler geleneksel ocaklarda biyokömür üretimi sırasında ortaya çıkan salınımlar üzerine yoğunlaşacaktır.

Deney, detayları Lehmann (2009)'da verilmiş olan çukur ocak, tümsek ocak, kiremit ocak ve taşınabilir metal ocak gibi geleneksel piroliz ocaklardan çıkan karbon salınımların ölçülmesinden oluşacaktır. Her ocak deney süresi boyunca ayrı ve kapalı bir hücreye konacaktır. On kilogramlık “fil çimi” (*Pennicetum purpureum schum*) dakikada 10 derecelik ısınma oranı altında her dört ocak içerisinde ayrı ayrı pirolize uğratılacaktır. Piroliz tepkimesi 720 derece selsiyusta tepe yapacaktır çünkü tepe noktasının 600 derece selsiyusu geçtikten hemen sonra olmasını istiyoruz ki bu sıcaklık piroliz süreci içerisinde en yüksek oranda gaz üretildiği evredir (William and Besler, 1996). Fil çimi bu deneyde biyokütle kaynağı olarak seçilmiştir çünkü bitki hem bol bulunmakta hem hızla çoğalmakta hem de gelecek vadeden bir biyokömür kaynağı olarak kabul edilmektedir (Strezov et al., 2008). Piroliz işlemi sırasında (piroliz tepkimesinin başlangıcından, hücreden biyokömür çıkartılmasına kadar geçen süre olarak tanımlanmıştır) kapalı hücreden salınan ve içinde tutulan gaz miktarı ölçülecektir. Gazlar sütun gaz kromatografisi ile tanımlanacak ve karbon monoksit, hidrojen gazı, metan, karbon dioksit ve hidrokarbonların tanımlanmasına özel önem verilecektir.

Deney her ocak için üç defa tekrarlanacaktır böylece gaz ölçümlerinin doğruluğu ve güvenirliliği belirlenmiş olacaktır. Hata analizi sonrasında, Lehmann (2006)'da verilen tahminler doğrultusunda, her ocağın biyokömür üretimi sırasında ortaya çıkarttığı salınımları o ocak tarafından üretilen biyokömürün, karbon sekastrasyon potansiyeli ile karşılaştırılacaktır. Öngörümüz geleneksel ocaklar tarafından dışarıya verilen karbon salınımlarının her bir ocakta üretilen biyokömürün karbon sekastrasyon potansiyelinin çok üstünde olacağıdır.

Biyokömürün Hidrokarbon İçeriğinin Analiz Edilmesi

İkinci deneyde, piroliz ile elde edilen biyokömürde bulunan artık hidrokarbon miktarı ölçülecektir. Sıcaklık ve ısıtma oranı üretilen biyokömürün yapısını etkilediği için bu iki değişken kontrol altında tutulacaktır (William and Besler, 1996). Sentetik gaz geri-dönüşüm mekanizması içeren piroliz makinesi ve kiremit ocak (geleneksel ocakları temsilen) kullanarak William and Bessler (1996)'da verilen deneysel koşullar altında on kilogramlık fil çimi piroliz denemelerinden geçirilecektir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Hidrokarbon Analizi ile ilgili Deneysel Tasarı

| Isıtma Oranı (Dakika Başına °C) | Maksimum Sıcaklık (°C) |
|---------------------------------|------------------------|
| 5 | 300 |
| | 600 |
| | 720 |
| 20 | 300 |
| | 600 |
| | 720 |
| 40 | 300 |
| | 600 |
| | 720 |
| 80 | 300 |
| | 600 |
| | 720 |

Çizelge 2’de, ısıtma oranı, piroliz hücresindeki sıcaklığın artış hızını temsil etmektedir ve dakika başına selsiyus olarak verilmiştir. Maksimum sıcaklık, piroliz tepkimesi sonlandırılmadan önce piroliz döngüsü sırasında ulaşılan en yüksek sıcaklığı temsil etmektedir. Hem sentetik gaz geri-dönüşümlü piroliz makinesi hem de kiremit ocağı bütün denemelerden geçirilecektir, dolayısıyla toplamda yirmi dört deneme yapılacaktır.

Deneysel kurgu her ne kadar William ve Besler’in piroliz deneylerini tekrarlıyor gibi görünse de biz piroliz süreci sonucunda üretilen katı kömürü alıp hidrokarbon içeriği açısından analiz etmeyi amaçlamaktayız. Hidrokarbon içeriği gaz kromatografisi/kütle spektrometresi (GK/KS) yöntemi ile değerlendirilecektir. William ve Besler’in deneyinin ana hatlarına baktığımızda, en yüksek miktarda biyo-petrolün üretildiği deneysel koşullar altında üretilen biyokömürün en düşük miktarda artık hidrokarbon içeriğine sahip olması beklenmektedir. Bunun arkasındaki neden biyokütle içerisinde yer alan hidrokarbon içeriğinin büyük oranda biyo-petrole dönüşmesidir.

Toprak Zehirliliği Analizi

Hidrokarbon içerik analizi sırasında elde edilen biyokömür, toprak zehirlilik deneyinde kullanılacaktır. Bu deneydeki amaç biyokömürdeki hidrokarbon içeriği ile toprak zehirliliği arasında bir ilişki kurmaktır. Biri en düşük hidrokarbon içeriğine sahip, biri orta-derecede hidrokarbon içeriğine sahip, biri de en yüksek hidrokarbon içeriğine sahip olmak üzere deneyde hidrokarbon içerik analizinden elde edilen üç biyokömür örneği kullanılacaktır. Kontrol olarak biyokömür örneklerinin içerdiği hidrokarbon miktarı ile aynı miktarda hidrokarbon içeriğine sahip (hidrokarbonların kimyasal olarak eklenmesi ile) doğal gübre örnekleri kullanılacaktır. Bu kontroller hidrokarbon içeriği bilenen biyokömürü sıradan gübreler ile karşılaştırarak biyokömürün toprak üzerindeki özgül etkisini belirlemede yararlı olacaktır.

Toprak zehirlilik analizi terra preta'nın bulunduğu doğal çevreyi taklit edebilmek için tropik toprak kullanılarak yapılacaktır. Deneyler, önceden belirlenmiş ve benzer toprak profiline sahip 10 metreye 10 metre olan kare parsellerde yapılacaktır. Parseller coğrafyadan doğan çevresel farklılıkları önleyebilmek için süreklilik içeren bir alanda yapılacaktır. Parselleri ekime hazırlayabilmek için her parselde bulunan bitki örtüsü kaldırılacak ve parseller yeterince havalandırılıp sulandırılacaktır.

Toplamda üç adet deneysel üç adet de kontrol parseli olacak şekilde üç farklı örneğin ağırlığına eşit miktarda biyokömür (üç düşük, orta ve yüksek hidrokarbon içerikli biyokömür ve bunlara denk gelen doğal gübre kontroller) parsellere uygulanacaktır. Eklenen biyokömür pelet haline getirilecek ve deney alanının yarım metre altına düzenli bir şekilde dağıtılacaktır. Kontrol olarak kullanılacak doğal gübrelerde benzer şekilde alana dağıtılacaktır. Deney bitkisi olarak turp seçilmiştir ve yirmi adet çimlendirilmiş genç bitki biyokömür veya gübreleme işlemini takiben her parselde ekilecektir. Turp'un deneysel bitki olarak seçilmesi birden çok nedene bağlıdır: küçük boyutu, hızlı büyüme zamanı (ideal koşullar altında 24-30 gün) ve karbon kaynağının ve batağının kolaylıkla belirlenebileceği sürgün ve kök sistemlerine sahip olması (Kostka-Rick and Manning, 1993). Tohum gelişiminden kaynaklanabilecek her hangi bir arka plan etkisinin ortadan kaldırılabilmesi için genç bitkiler seçilmiştir. Deneysel güvenilirliği sağlayabilmek için deney ve kontrol parselleri 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilecektir.

Turplar ilkbahar mevsiminin sonlarından yazın başına kadar uzanan ve Mayıs ve Haziran aylarını kapsayan 6 haftalık bir süre içerisinde yetiştirilecektir. Parseller deney süresi boyunca hafta üç kere musluk suyu ile sulanacak fakat bunun dışında normal hava koşulları altında bırakılacaktır. Daha sonra bitkiler 80 derece selsiyus altındaki bir fırında 48 saat boyunca kurutulacak ve sürgün ve kök sistemleri ayrı ayrı ölçülecektir. Yukarıda verilen

hasat protokolü Chidumayo (1994) tarafından gerçekleştirilen toprak verimlik deneylerinden uyarlanmıştır.

Ölçümler her bir deneysel ve kontrol örnekleme için ayrı ayrı karşılaştırılacak ve deneyin her bir tekrarının sonuçları göz önüne alınacaktır. En düşük hidrokarbon konsantrasyonlarına sahip parsellerin en yüksek turp verimliliğine sahip olacağı beklenmektedir. Verimlilik sürgün ve kök ölçümleri ile ve bitkilerin kuru ağırlıklarının ölçülmesi ile belirlenecektir. Biyokömür örnekleri ile aynı miktarda hidrokarbon içeren doğal gübreler arasında toprak zehirliliği bakımından görülen farklar halen belirsizdir, dolayısıyla aynı miktarda hidrokarbon konsantrasyonuna sahip parselleri karşılaştırarak bu farkı sınanacaktır.

Beklenen Bulgular, Sonuçlar ve Jeomühendislik Tasarısı Olarak Biyokömür Üzerine Ek Öneriler.

Beklenen Bulgular

Karbon salınım deneyleri sonucunda, geleneksel ocakların orantısız miktarlarda karbon salınımı yapması ve dolayısıyla üretilen biyokömür ile sekestre edilen karbonu anlamsız kılması beklenmektedir. Bunun aksine salınan gazların geri dönüştürüldüğü veya kimyasal olarak işlendiği ticari piroliz makinelerinin çok düşük miktarlarda karbon salınımı yapmaları beklenmektedir.

Toprak zehirliliği analizleri yoluyla, en düşük düzeyde hidrokarbon içeriğine sahip biyokömür içeren parsellerin en yüksek miktarda hasat (üretilen turpların kuru ağırlıkları ve uzunluklarını ölçerek hesaplanmıştır) vermesi beklenmektedir. Bunun aksine en yüksek miktarda hidrokarbon içeren biyokömürlerin bulunduğu parsellerin en düşük miktarlarda hasat vermesi beklenmektedir. Hidrokarbon eklenmiş kimyasal gübreler ile yapılan kontroller

değerlendirildiğinde gübre örnekleri ile biyokömür örnekleri arasındaki farkın çok az olması beklenmektedir.

İleriye Yönelik Öneriler

Dışarıya salınan karbon miktarları göz önüne alındığında biyokömür üretiminde geleneksel ocaklara karşılık, ticari piroliz makinelerinin kullanımını önermekteyiz.

Buna ek olarak toprak zehirlilik analizlerinin sonuçları, biyokömürdeki artık hidrokarbon miktarının toprağı zehirlediğı ve dolayısıyla biyokömür içeren parsellerdeki ürün verimliliğini etkilediğini göstermiştir. Bu ticari piroliz makinelerinin kullanılması ile ilgili tavsiyelerimizi güçlendirmektedir çünkü bu makineler piroliz sürecine ilişkin maksimum sıcaklıkları ve ısıtma oranlarını kontrol ederek üretilen biyokömürdeki hidrokarbon içeriğini doğrudan modifiye edebilir. Geleneksel ocaklarda bu deneysel koşulları doğru bir şekilde kontrol edebilmek oldukça zordur ve dolayısıyla üretilen biyokömürün hidrokarbon içeriğı oldukça değişkendir.

Yukarıda, ticari piroliz makinelerinin gelişmekte olan ülkelerde az miktarlarda bulunmasına yol açan, yüksek maliyetlerinden bahsetmiştik. Çözüm önerimiz hükümetlerin bu ticari piroliz makinelerinden birkaç tane satın alarak bu makinelerin biyokömür üretimi için belirli aralıklarla ülkenin farklı yerlerindeki çiftçiler arasında dolaştırılmasıdır. Bu, bireylerin küçük gruplar halinde bir araya gelip piroliz makinesi satın alma ve sahibi olma yükümlülüğünü azaltarak, normal çiftçilerin biyokömüre daha rahat ulaşabilmelerini sağlamaktadır. Yukarıda anlatıldığı üzere, biyokömür karbon sekestrasyon özelliğine ek olarak gübre şeklinde de kullanılabileceğı gösterilmiştir ve eğer doğru oranlarda ve hidrokarbon içeriğı kontrollü bir şekilde uygulanırsa, biyokömür nitrojen özümleme etkinliğini maksimize ettiğı

için tarımsal ürün hasadını da arttırabilir (Chan et al., 2007). Bu sonuç, karbon sekestrasyon özelliğinin yanında, gelecekte biyokömür üretiminin ve uygulanmasının arttırılması için ek bir neden oluşturmaktadır.

Gelecek ve Biyokömür

Biyokömür gömülümünü bir jeomühendislik tasarısı olarak küresel boyutta uygulanması ile ilgili eleştiriler karbonu sekestre edebilecek geniş biyokömür gömü alanlarının açılabilmesi için büyük ölçekte orman kesimlerinin yapılması gerektiğine dikkat çekmişlerdir. Buna ek olarak eleştirmenler, sadece biyokömür üretimi için geniş ekin alanlarının yaratılması fikrine de kuşku ile bakmaktadırlar. Fakat bizim inancımız göre bu iki temel problemde üstesinden kolaylıkla gelinebilir.

Bu öneride ana hatları verilen toprak zehirliliği deneyi ile biyokömürün hasat verimliliği ve toprak zehirliliği üzerindeki istenmeyen etkileri ortaya konabilmektedir ve dolayısıyla biyokömür gömülümü için gerekli alanı açmak için geniş ölçekli ağaç kesimlerinin gerçekleştirilmesine gerek yoktur. Biyokömür hali hazırda üretken olan tarım alanlarına gömülebilir ve hatta Amazon havzasında yüzyıllarca var olan terra pretaya benzer bir şekilde gübre olarak da görev yapabilir.

Bunlara ek olarak biyokömür tarımsal atıklardan kolaylıkla üretilebilir ve biyokömür üretimi için yeni tarlaların açılmasına gerek yoktur. Dünyada her yıl üretilen 60.6 milyar ton NBÜ'nün yaklaşık yüzde on kadarı mısır sapı ve yaprak döküntüsü gibi tarımsal ve ormansal atık haline dönüşmektedir (Kleiner, 2009). Eğer bütün bu atıklar piroliz yoluyla biyokömür olarak geri dönüştürülebilirse, yıllık 3 milyar ton biyokömür üretilmiş olacaktır ve buda yıllık atmosferik karbon salınımlarında yine 3 milyar tonluk bir azalmaya tekabül edecektir (Amnonette et al., 2007). 4.1 milyar tonluk artık karbon dioksitin her yıl atmosferde biriktiği düşünülürse, bu dengesizliğin önemli bir kısmı yukarıdaki yöntem ile giderilebilir.

Biyokömürü karbon sekestrasyonu için bir araç olarak kullanmak ile ilgili araştırmalar hızlan devam etmektedir ve sonuçları oldukça umut vericidir. Atmosferde artan karbon dioksit konsantrasyonlarını kontrol altına almaya yönelik araştırmaların biyokömür üzerine odaklanmasını şiddetle tavsiye etmekteyiz.

Jeomühendislik ve Gelecek

Son iki yüz yılda insanoğlunun tanık olduğu ilerlemeler göz önüne alındığında, teknolojik ilerlememizin bir yan ürünü olarak ortaya çıkan küresel sorunlarımızı çözebilmek için tekrardan teknolojiye dönmemiz oldukça ironiktir. Jeomühendislik kavramı son yıllarda ekolojide devrim niteliği kazanmıştır fakat burada konu edilen deney göstermiştir ki problemin birçok farklı yönü vardır ve dikkatli bir şekilde irdelenmelidir.

Dünyamız yaşam ağı ile sıkıca örölmüş bir ekosistemdir – bir tür bizi diğerine götürür, bir döngü diğerini etkiler. Çevreye yapılan her hangi bir müdahale bütün sistemin, yapılan müdahaleyi telafi edebilmek için, farklı bir yöne doğru kaymasına neden olur. Bu olguyu aklımızın bir köşesine yazmamız ve sistem üzerinde yapacağımız deneylerin mantık ve sağduyuya dayandığından emin olmamız gerekmektedir. Çıkan sonuçlar hem bilgilendirici hem de tatmin edici olabilir – 1960’larda Hubbard Brook Ulusal Ormanında yapılan jeomühendislik deneyleri 1968’de Temiz Hava Kararnamesi ve 1970’lerden 1990’lara kadar çeşitli ek kararnamelerin çıkmasına neden olan ve asit yağmurunun toprak, orman ve göl ekosistemleri üzerindeki etkilerini toplumsal boyutta ön planla çıkartan ve dönüm noktası teşkil eden bir çalışma ile sonuçlanmıştır.

Sonuç olarak, Remmert’in 1980’de vermiş olduğu uygulamalı ekoloji’nin temel tanımına geri dönmek istiyoruz, “Uygulama alanı olarak ekoloji günümüzdeki yaşam biçimleri için olmazsa olmaz koşulların nasıl

korunabileceğini bulmak ile yükümlüdür". Dünyamız dengeden çıkmaya başladıkça sadece ekolog olarak değil fakat sade bir vatandaş olarak görevimiz bu istenmeyen etkilerin nasıl çevrilebileceğini bulmaktır. Jeomühendislik her ne kadar (şimdilik) mükemmel bir çözüm olmasa da, - dünyanın çocuklarımız, çocuklarımızın çocukları ve sonradan gelecek bütün nesiller için yaşanabilir olması için- bu özgül problemi çözme yönünde atılmış bir adımdır.

Kaynaklar

Abend, Lisa (2008, December 4). Carbon: The Biochar Solution. Retrieved November 6, 2009 from Time website: <http://www.time.com/time/magazine/article/0,9171,1864279,00.html>.

Akbari H. and Menon S. (2009). Global Cooling: Increasing World-Wide Urban Albedos to Offset CO₂. *Climatic Change*, 94(3-4), 275-286. doi:10.1007/s10584-0089515-9.

Alexander, Martin (1995). How Toxic Are Toxic Chemicals in Soil? *Environmental Science and Technology*, 29(11), 2713-2717. doi: 10.1021/es00011a003.

Amonette et al. (2007). Terrestrial Carbon Sequestration with Biochar: A Preliminary Assessment of its Global Potential. *American Geophysical Union Fall Meeting 2007*, abstract U42A-06.

Arni et al. (2009). Syngas From Sugarcane Pyrolysis: An Experimental Study For Fuel Cell Applications. *Renewable Energy*, 35(1), 29-35. doi: 10.1016/j.renene.2009.07.005.

Austin, Anna (2009). A New Climate Change Mitigation Tool. *Biomass Magazine*, October 2009.

Bridgwater, A. (2003). Renewable Fuels and Chemicals by Thermal Processing of Biomass. *Chem. Eng. J.*, 91, 87-102. doi:10.1016/S1385-8947(02)00142-0.

Canadell et al. (2007). Contribution to Accelerating Atmospheric CO₂ Growth From Economic Activity, Carbon Intensity, and Efficiency of Natural Sinks. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 104(47), 18866-18870. doi: 10.1073/pnas.0702737104.

- Cazenave, A. and Nerem, R. S. (2004). Present-Day Sea Level Change: Observations and Causes. *Rev. Geophys*, 42, RG3001. doi:10.1029/2003RG000139.
- Chan et al. (2007). Agronomic Values of Greenwaste Biochar as a Soil Amendment. *Australian Journal of Soil Research*, 45(8), 629-634. doi: 10.1071/SR07109.
- Chidumayo, E. N. (1994). Effects of Wood Carbonization on Soil and Initial Development of Seedlings in Miombo Woodland, Zambia. *Forest Ecology and Management*, 70, 353-357.
- Chisholm, S. W. et al. (2001). Dis-Crediting Ocean Fertilization. *Science*, 294(5541), 309-310. doi:10.1126/science.1065349.
- Committee on Science, Engineering, and Public Policy (U.S.). Panel on Policy Implications of Greenhouse Warming. (1992). *Policy Implications of Greenhouse Warming: Mitigation, Adaption, and the Science Base*. Washington D.C.: National Academy Press.
- Cullen, J. J. and Boyd, P. W. (2008). Predicting and Verifying the Intended and Unintended Consequences of Large-Scale Ocean Iron Fertilization. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 364, 295-301. doi:10.3354/meps07551.
- Dasgupta et al. (2009). The Impact of Sea Level Rise on Developing Countries: A Comparative Analysis. *Climatic Change*, 93(3-4), 379-388. doi: 10.1007/s10584008-9499-5.
- Day et al. (2005). Economical CO₂, SO_x, and NO_x Capture From Fossil-Fuel Utilization With Combined Renewable Hydrogen Production and Large-Scale Carbon Sequestration. *Energy*, 30, 2558-2579. doi: 10.1016/j.energy.2004.07.016.
- Emmons, Howard W. and Atreya, Arvind (1982). The Science of Wood Combustion. *Proceedings of the Indian Academy of Sciences*, 5(4), 259-268.
- Falkowski, et al. (2000). The Global Carbon Cycle: A Test of Our Knowledge of Earth as a System. *Science*, 290(5490), 291-296. doi: 10.1126/science.290.5490.291.
- Glaser et al. (2001). The 'Terra Preta' Phenomenon: A Model for Sustainable Agriculture in the Humid Tropics. *Naturwissenschaften*, 88, 37-41. doi:10.1007/s001140000193.

- International Biochar Initiative. (2009). [Informational Flyer on Biochar Carbon Content] *Biochar Can Be Carbon Negative*. Retrieved from http://www.biocharinternational.org/images/Flier_3.2_carbon.pdf.
- IPCC. (2007). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Keith, D. W. (2000). Geoengineering the climate: History and prospect. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25, 245-284. doi: 10.1146/annurev.energy.25.1.245.
- Kleiner, Kurt. (2009). The Bright Prospect of Biochar. *Nature Reports Climate Change*, 3(0906), 72-74. doi: 10.1038/climate.2009.48.
- Kostka-Rick, Richard and Manning, William J. (1993). Radish (*Raphanus Sativus* L.): A Model For Studying Plant Responses to Air Pollutants and Other Environmental Stresses. *Environmental Pollution*, 82, 107-138. doi: 10.1016/02697491(93)90109-2.
- Kuhlbusch et al. (1996). Black Carbon Formation by Savanna Fires: Measurements and Implications for the Global Carbon Cycle. *J. Geophys. Res.*, 101, 23651-23665.
- Lal, R. (2009). Sequestering Atmospheric Carbon Dioxide. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 28(3), 90-96. doi: 10.1080/07352680902782711.
- Lean, J. L. and Rind D. H. (2008). How Natural and Anthropogenic Influences Alter Global and Regional Surface Temperatures: 1889 to 2006. *Geophysical Research Letters*, 35, L18701. doi:10.1029/2008GL034864.
- Lehmann et al. (2002). Slash-and-Char – a Feasible Alternative for Soil Fertility Management in the Central Amazon? *Proceedings of the 17th World Congress of Soil Science*, 1-12. Bangkok, Thailand.
- Lehmann et al. (2006). Bio-Char Sequestration in Terrestrial Ecosystems – A Review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11, 403-427. doi:10.1007/s11027-005-9006-5.
- Lehmann, Johannes and Joseph, Stephen (2009). History of Charcoal-Making. In *Biochar for Environmental Management: Science and Technology* (pp.128-130). London: Earthscan.

- Mohan et al. (2006). Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-Oil: A Critical Review. *Energy and Fuels*, 20, 848-889. doi: 10.1021/ef0502397.
- Oerlemans, J. (2005). Extracting a Climate Signal From 169 Glacier Records. *Science*, 308(5722), 675-677. doi:10.1126/science.1107046.
- Pelling, M. and Ullito, J. I. (2001). Small Island Developing States: Natural Disaster Vulnerability and Global Change. *Environmental Hazards*, 3, 49-62. doi: 10.1016/S1464-2867(01)00018-3.
- Piskorz et al. (1986). On the Mechanism of the Rapid Pyrolysis of Cellulose. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 9(2), 121-137. doi: 10.1016/01652370(86)85003-3.
- Remmert, H. (1980). *Ecology*. Berlin: Springer-Verlag.
- Rondon et al. (2005). Greenhouse Gas Emissions Decrease in Charcoal Additions to Tropical Soils. *Proceedings of the Third USDA Symposium on Greenhouse Gases and Carbon Sequestration*, 208. Baltimore, MD.
- Steinbass et al. (2009). Effect of Biochar Amendment on Soil Carbon Balance and Soil Microbial Activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(6), 1301-1310. doi: 10.1016/j.soilbio.2009.03.016.
- Strezov et al. (2008). Thermal Conversion of Elephant Grass (*Pennisetum Purpureum* Schum) to Bio-Gas, Bio-Oil, and Charcoal. *Bioresource Technology*, November 2008, 8394-8399. doi: 10.1016/j.biortech.2008.02.039.
- von Braun, Joachim (2007). *The World Food Situation: New Driving Forces and Required Actions*. Washington D.C.: International Food Research Policy Institute.
- Walther et al. (2002). Ecological Responses to Recent Climate Change. *Nature*, 416, 389-395. doi:10.1038/416389a.
- Wigley, T. M. L. (2006). A Combined Mitigation/Geoengineering Approach to Climate Stabilization. *Science*, 314(5798), 452-454. doi:10.1126/science.1131728.
- Williams, Paul T. and Besler, Serpil (1996). The Influence of Temperature and Heating Rate on the Slow Pyrolysis of Biomass. *Renewable Energy*, 7(3), 233-250. doi: 10.1016/0960-1481(96)00006-7.

MIT OpenCourseWare

<http://ocw.mit.edu>

1.018J / 7.30J Ekoloji I: Dünya

Güz 2009

Bu materyallere atıfta bulunmak ya da kullanım koşulları için <http://ocw.mit.edu/terms> adresini ziyaret ediniz.