



TOROS TARIM

AR-GE BÜLTENİ

Ocak 2024 / Sayı 7

Merhabalar,

Toros ARGE Bülteni'nin yeni sayılarında birbirinden farklı ve dopdolu içerikleri sizler için ele almaya devam ediyoruz. Bu sayımızda, Toros Tarım A.Ş bünyesinde yer alan işletmelerin de katkıları ile "Kompostlama Hızına Etki Eden Parametreleri Optimize Etmeye İlişkin Bir İnceleme"; "Biyobozunurluk Üzerine"; "İklim Değişikliğini Ele Almak İçin Karar Verme Stratejileri"; "Enerji Taşıyıcısı Olarak Hidrojen ve Amonyakın Fonksiyonu" gibi birbirinden farklı konulara yer verdik.

Bülten çalışmalarını ile ilgili katkı, soru ve önerileriniz için info.arge@toros.com.tr üzerinden bizlere ulaşabilirsiniz.

Keyifli okumalar dileriz.



Kompostlama Hızına Etki Eden Parametreleri Optimize Etmeye İlişkin Bir İnceleme

Hakan Yazıcı
Toros Meram Yenilenebilir Enerji, Konya, Türkiye
Üretim Şefi

Son yüzyılda tüm dünyada sanayinin gelişmesi ile endüstriyel üretimin artması ile hızla tüketim miktarı da artmıştır. Hızlı nüfus artışı, bilinçsiz tüketim durum sonucunda oluşan atıkların bertarafı problemi ortaya çıkmıştır. Türkiye'de TÜİK 2022 verilerine göre; imalat işyerleri, maden işletmeleri, termik santraller, organize sanayi bölgeleri ve evsel atıklar 2022 yılında toplam 109,2 milyon ton atık oluşmuştur. Ayrıca geri dönüşüm tesislerinde yaklaşık 133 milyon ton atık işlenmiştir. Atık bertaraf ve geri dönüşüm tesislerinde işlenen 133 milyon ton atığın 81 milyon tonu bertaraf, 52 milyon tonu ise geri dönüştürülerek tarım, inşaat sektörlerine geri kazanılmıştır. Organik atıkların kompostlama yöntemleriyle kompostlaştırılarak organik ya da organomineral gübre üretimi ülkemiz genelinde yaygınlaşmaya başlamıştır. Kompostlama işlemi, organik maddelerin mikroorganizmalar, protozoonlar, bakteriler ve mantarlar tarafından mikro moleküllerine parçalanarak humus adı verilen sus tutma kapasitesi yüksek bir maddeye dönüştürmesidir. Kompost ise mikroorganizmalar

tarafından hijyenize edilmiş, yararlı mikroorganizma içeren ürüne verilen isimdir. Kompostun kalitesi içerdiği organik madde miktarının yüksek olması, Tarım ve Orman Bakanlığı'nın belirlemiş olduğu hijyenizasyon kriterleri uygulanarak zararlı bakteri, yabancı ot ve tohumlardan arınmış olmasıdır. Bu çalışmada büyükbaş atığı, tavuk atığı, mezbaha atığı, bitkisel atık ve arıtma çamuru atığı kullanılarak kompostlaştırılması konusu üzerine uygulama yapılmıştır. Kompost kalitesi kullanım ve üretime yöntemine göre değişiklik gösterip herhangi bir standartta bulunmamaktadır. Kompost prosesine etki eden en önemli faktörler; kompostun elde edildiği biyokütlelerin dane yapısı, karbon azot oranı (C/N), pH, sıcaklık, havalandırma ve su içeriği olarak belirlenmiştir. Kompost üretiminin; toprak boşluk hacmini artırarak havalandırmasını kolaylaştırma, toprak işlenebilirliğini kolaylaştırma, toprak su tutma kapasitesini artırma, toprak organik madde miktarını yükseltme ve bitki mineral difüzyon hız ve miktarını artırma, toprağa bakteri popülasyonunu artırma, humus miktarına katkıda bulunma ve toprak erozyonu

engelleme şeklinde çeşitli faydaları. Bu çalışmada kompostlama hızının artırmak için kompost porozite (gözeneklilik) ve kıvam parametreleri incelenmek için elek üzeri katı fermante, elek üzeri ve saman karışımı katı fermante, dekantör katı fermantelerinden numuneler alınarak incelenmiştir. Kompostlama hızındaki artışın gözeneklilik artıca, katı fermante gözeneklilik oranlarının sırasıyla %0, %55,22, %40,96 kompostlama hızları 35 hafta, 7,2 hafta, 5,9 hafta olarak gözlemlenmiştir.

Kompostlaştırma, tarımsal ekosistemleri çevresel açıdan güvenli bir şekilde sürdürmek için sürdürülebilir bir strateji olarak kabul edilmektedir [1]. Bu yöntemin karbon emisyonlarını azaltacağı ve arazi kullanımını iyileştireceği değerlendirilmektedir. Farklı organik katı atık maddelerini, optimize edilmiş kontrol koşulları altında tarımda uygulanan stabil organik ürünlere dönüştüren, böylece atık maddelerin geri dönüştürülmesini sağlayan etkili bir süreçtir [2]. Ayrıca kompostlama gibi bu atıkları fide üretimi için gübre veya substrat olarak kullanılmak üzere tarımsal ve peyzaj kaynaklarına dönüştüren tekniklerin kullanımını gerektirir (Pena, 2018).

Atık maddelerin içerisindeki organik maddelerin uygun kültür ortamında bakteriyolojik süreçlerden geçerek toprak benzeri bir ürün haline gelmesine 'Kompost' adı verilmektedir [3]. Toprağın içerdiği organik madde miktarı, kompostun içerdiği karbon ve azotun oranının yüksek olması bağlıdır [4]. Literatürde hayvansal ve bitkisel atıkları kompostlayarak tarımda organik gübre olarak kullanılması önerilmiştir [5].

Kompost süreci, mikroorganizmaların büyümesi ve aktiviteleri sonucunda ekzotermik reaksiyon sonucu ısı, CO₂, H₂O buharı ve humus üretir. Bununla birlikte kompostlaştırma işleminin başarısı, mikrobiyal topluluğun nem, oksijen, sıcaklık kontrolü ve besin bulunabilirliği gibi temel ihtiyaçlarını karşılama becerisine bağlıdır. Olgun kompostun oluşumundan sorumlu olan mikroorganizmaların çoğunluğu aerobik olduğundan, oksijene ihtiyaç duyarlar veya oksijen varlığında en iyi şekilde çalışırlar [6].

Kompostlama prosesinin ve kompost olgunluğunun değerlendirilmesinde kullanılan kriterlerin çoğu, kompostlama prosesinde yer alan mikroorganizmaların metabolik aktivitesini yansıtan organik malzemenin fiziksel ve kimyasal parametrelerine dayanmaktadır. Bu parametreler kompost sıcaklığındaki azalmaları [7], kendi kendine ısınma kapasitesini [8], oksijen tüketim oranlarını [9], fitotoksitesite analizlerini [10] içerir.

Sıcaklığın mezofilik seviyeye ve ardından ortam sıcaklığına düştüğü olgunlaşma aşaması. Yavaş olan ve nemlendirmeyi destekleyen ikincil bir fermantasyon meydana gelir; yani bazı karmaşık organiklerin minerallerle yakından ilişkili hümik kolloidlere ve son olarak da humusa dönüşümü. Amonyakın biyolojik olarak nitrite ve son olarak nitrate dönüşmek üzere oksitlendiği nitrifikasyon reaksiyonları da

meydana gelir [11].

Kompostlamaya Etki Eden Parametreler

Tüm kompostlama yöntemlerinde kompostlamaya etkileyen en önemli parametreler; dane yapısı, C/N oranı, pH, sıcaklık, havalandırma, nem ve porozite, yapı, kıvam olarak öne çıkmıştır.

Dane Yapısı

Partikül boyutunun küçültülmesinin kompostlama işlemini hızlandıracağına yaygın olarak inanılsa da mikronize malzemede serbest hava boşluklarının önemli ölçüde azalacağı bilinmelidir. Bu özellikle parçacıkların sıkıştırma eğiliminde olduğu bazı kompostlama sistemlerinde büyük bir sorun olabilir [12].

C/N Oranı

Kompostlamada mikroorganizmalar karbonu (C) enerji kaynağı ve azotu (N) hücre duvarı inşa ederek çoğalmak için kullanırlar. Kompostlama için C/N oranı optimum 20 – 40 değerler arasında değişmektedir. C/N oranı 40'ı üzerinde bakteriyolojik aktivite yavaşlar ve kompostlama işlem süresi uzar. 20'in altında kaldığında ise anaerobik mikroorganizma popülasyonu artarak amonyak gazı açığa çıkar ve proses anaerobik reaksiyona dönüşür. Ayrıca açığa çıkan amonyak gazı, koku oluşumuna yol açarak gaz salınımı miktarını artırarak çevresel zararlar oluşturur [13].

pH

Tüm bakterilerin yaşadığı bir pH aralığı vardır. Kompostlama sürecinde optimum pH aralığı 6 - 8 arasındadır. Bakteriyolojik işlem sürecinde ekzotermik reaksiyon sonucu ortama aktarımı sağlanarak yığın sıcaklığı artmaya başlar ve bakterilerin salgıladığı asitlerle pH 4'e kadar düşer. Termofilik faza geçiş ile organik madde tüketimi azalır ve ortamın pH değeri tekrar 8'e kadar yükselmektedir [14].



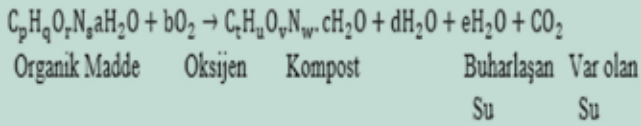
Şekil 1. Kompost oluşumunda sıcaklık pH değişim evreleri
Görsel linki: <https://124.im/B1XEolv>

Sıcaklık

Bakteriyolojik tüm reaksiyonlar, yüksek sıcaklıklarda çok daha hızlı gerçekleşir. Bununla birlikte, literatürde

biyokimyasal reaksiyonlar, canlılar belirli sıcaklıklar üzerinde yaşayamadığı için bir üst sınır ve optimum çalışma aralığı tanımlanmıştır. Kompostlama gibi mikroorganizmaların etkili olduğu ve maksimum biyolojik ayrışma hızının hedeflendiği proseslerde maksimal sıcaklık limit göz önünde bulundurulmalıdır. Sistem sıcaklığı ile sıcaklığın belirli aralıklarla sabit tutulması biyolojik reaksiyonların devamlılığı ili doğrudan ilişkilidir. Çünkü sıcaklığın belirli bir limiti geçtikten sonra bakteri ölümlerine sebep olacağından mikrobiyal aktivitenin azalmasına ve durmasına neden olacaktır [15].

Kompostlama prosesi aşağıdaki denklik ile ifade edilmiştir;



Görsel Linki: <https://124.im/uXjx>

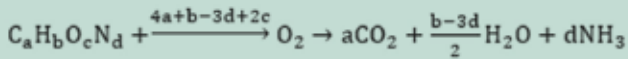
Ayrıca aerobik kompostlama prosesine giren ve çıkan maddeler aşağıdaki gibi gösterilmektedir;



Görsel Linki: <https://124.im/hMsXfa>

Havalandırma

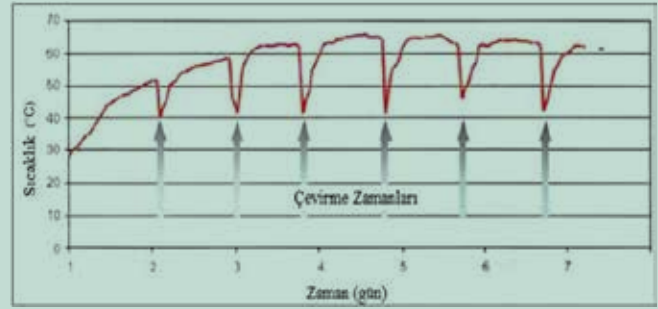
Bakteriyolojik aktivitelerin gerçekleşmesi sırasında koku sorunu oluşmaması için, aerobik mikroorganizmaların çalışma şartlarını sağlayacak yeterli oksijen bulunmalıdır. Kompostlama, yığının belirli periyotlarda bir karıştırıcı ekipman yardımı ile karıştırılması sağlanır. Çünkü karıştırma operasyonu ile yüksek miktarda oksijenin mikroorganizmalara ulaşmasıyla kompostlama işlemi daha hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir [16].



Görsel linki: <https://124.im/T548fx>

Doğal havalandırmalı kompostlaştırma proseslerinde, yığının alt bölgelerine oksijen difüzyonu yetersiz olduğu için bu bölgelerde bakteriyolojik faaliyet için oksijen yetersiz kalır ve anaerobik bakteri popülasyonu artarak kompostlama işlemi durma noktasına gelir. Bu durumu engellemek için, yığını bir makine ya da elle karıştırarak havanın bu bölgelere ulaşmasını sağlar. Karıştırma, ayrıca büyük parçaların kırılarak, ufalanarak küçülmesini sağlayarak mikrobiyal reaksiyonlar için yeni substrat yüzeyler oluşturur [17].

Aktarma sırasında yığın sıcaklığının tipik değişim profili Şekil 2'deki gibidir.



Şekil 2. Karıştırma ile sıcaklık değişim profili

Görsel Linki: <https://124.im/uMIPU>

Nem

Nem, komposttaki mikroorganizmaların besin oksijeni difüze ettiği ve büyümesi, çoğalması için gereklidir. Bakteriyolojik faaliyetlerin sağlıklı devam edebilmesi için nem içeriği yaklaşık %60 – 65 aralığında olmalıdır. Alt sınır anaerobik bakteri popülasyonunun baskın olmadığı değer seçilmelidir. Nem üst limiti ise metabolik faaliyet için yeterli oksijenin mikroorganizmalara ulaşmasını sağlayacak belirlenir. Tüm organik maddeler karbon, hidrojen ve oksijen içerir. Kompostlama işlemi, malzemenin biyolojik olarak parçalanmasını içerdiğinden, işlem sırasında sisteme karbondioksit ve su salınır. Bu su ve CO₂ yığından uzaklaştırılmalıdır. Aksi takdirde yüksek nem; gözenekleri tıkayarak oksijen difüzyonunu önleyecek ve mikrobiyal aktiviteyi azaltacaktır. Geleneksel kompost sistemleri, suyu buhar olarak uzaklaştırmak için kompost kütlesi boyunca büyük miktarda havanın taşınması prensibine dayanır. Bu yöntem genellikle verimsizdir [18].

Porozite, Yapı, Kıvam

Kompostlama prosesinde su içeriğine, yığın yoğunluğuna, parçacık boyutuna ve mekanik dayanıma özellikle dikkat edilir. Bu özellikler kompostlanmış yığının gözenekliliğini yani gaz, ısı salınımı ve fazla suyun yığından deşarj işlemlerini etkiler. Bu da kompostlaştırma sürecini ve dolayısıyla nihai ürünün kalitesini belirler [19,20].

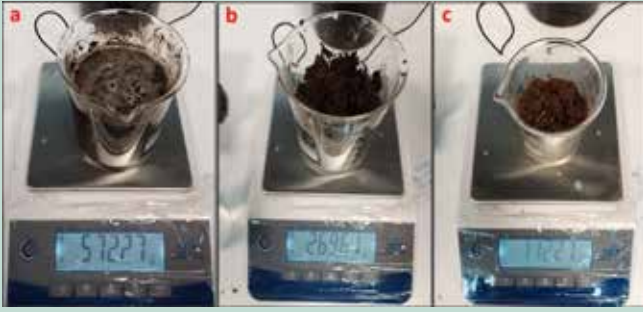
$$Q_s = \frac{C(Dt - k)c}{m} (Jg^{-1})$$

Görsel Linki: <https://124.im/5NF6z>

Materyal ve Metot

Denemelerde kullanılan katı fermante, elek üzeri ve saman karışımı fermante, dekantör katı fermante numuneleri, Toros Meram Yenilebilir Enerji A.Ş. Biyogaz üretim tesisinde 28 gün anaerobik fermantasyon sonucu elde edilmiş gazı ve enerjisi alınmış katı atıktan oluşmaktadır.

Elek üzeri katı fermante, elek üzeri ve saman karışımı katı fermante, dekantör katı fermanteleri numuneleri, darası alınmış 500ml'lik erlenlere alınarak gözenekli ve gözeneksiz olarak hassas tartım cihazında tartılmıştır. Şekil 3'te gözenekli yapıdaki durumlarının tartımları verilmiştir.



Şekil 3. Elek üzeri katı fermante (a), elek üzeri ve saman karışımı katı fermante (b), dekantör katı fermanteleri (c)

Tüm tartımlar tamamlanarak hesaplamalar yapılmıştır ve numunelerin elde edilen gözeneklilik oranları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Numunelerin gözeneklilik oranları

Gözeneklilik	Elek üzeri katı fermante	Saman Eklenmiş elek üzeri katı fermante	Dekantör katı fermante
%ı	Yok	<u>%55.22</u>	<u>%40.96</u>

Ayrıca numunelere ait deney düzenekleri kurularak kompostlama hızları gözlemlenmiştir. Tablo 2'de numunelerin kompostlama süreleri verilmiştir.

Tablo 2. Numunelerin kompostlama hızları

Kompostlama süreleri	Elek üzeri katı fermante	Saman Eklenmiş elek üzeri katı fermante	Dekantör Katı fermante
Hafta	35	7.2	5.9

Sonuç

Kompost yığnında biyolojik faaliyetlerin devamı için sıcaklık olması gerekmektedir. Sürekli karıştırıldığında bu sıcaklık muhafaza edilememektedir. Muhafaza etmek için belirli periyotlarda karıştırma işlemi yapılmalıdır. Karıştırma esnasında bakterilerin ihtiyacı olan oksijende sağlanmaktadır. Karıştırma belirli periyotlarda yapılacağı için oksijenin yığna sürekli girmesi karıştırma miktarı kadar olacaktır. Bu nedenle sürekli oksijen girişine maruz kalması için yığnın belirli bir poroziteye sahip olması gerekmektedir. Mevcut durumda elek üzeri katı fermantenin porozitesi oranı sıfırdır. Bu nedenle kompostlama hızı 35 hafta da gerçekleşmiştir.

Elek üzeri katı fermantede gözenekliliği artırmak için eklenen saman yoğunluğu düşürmektedir ve bakteri için gerekli oksijen alması için yapı oluşturmaktadır. Porozite oranı %55,96 tır. Fakat C/N oranını yükselttiği için bakteriyolojik faaliyet yavaşlamakta ve kompostlama hızı 7,2 hafta da gerçekleşmiştir. Reaktör çıktısı dekantörden geçirildiğinde, dekantör çıktısı katı fermantenin porozitesi

oranı %40,96 çıkmaktadır. Dekantör çıktısı katı fermante kompostlama hızı 5,9 hafta gerçekleşmiştir.

Maliyetler ve C/N dengesi göz önünde bulundurulduğunda dekantör çıktısı katı fermante kompostlaştırma prosesinde kullanılacak optimum malzemedir. Ayrıca yığnın oksijen alış ve reaksiyon sonucu oluşan ısının, gazların deşarjı için yeterli gözeneklilik sağlanmış olacaktır.

Kaynakça:

1. Canpolat, M. Y. 1990. "İğdir Yöresi Topraklarında Kaymak Sertliği (Kırılma Değeri) ile İlgili Araştırmalar." Doktora Tezi, Atatürk Üniv. Ziraat Fak., Erzurum.
2. Chen, Y., Inbar Y., Hadar Y. 1988. Composted agricultural wastes as potting media for ornamental plants. *Soil Science* 145: 298-303.
3. Chiumenti, A. Chiumenti, R., Diaz, L.D., Savage, G.M., Eggerth, L.L., Goldstein, N. (2005). *Modern Composting Technologies*, Biocycle JG Press, Pennsylvania, USA.
4. Ekinci K., Tosun İ., Varol N. (2021). *Kompost El Kitabı*, Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Yalova.
5. Epstein, E. (1997) *The Science of Composting*. Boca Raton, FL: CRC Press.
6. Erdin, E. 1981. Atık Sulamada Kullanılması Su Kimyası ve Teknolojisindeki Son Gelişmeler Semineri 8-12 Haziran İzmir.
7. Flynn, R.P. and Wood, C.W. (1996) Temperature and chemical changes during composting of broiler litter. *Compost Sci Util* 3, 62-70.
8. Gajalakshmi, S. ve Abbasi, S. A. 2008. Solid Waste Management by Composting; State of the Art, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 38 (5), 311-400.
9. Jiang, J., Liu, X., Huang, Y., Huang, H. 2015. Inoculation with nitrogen turnover bacterial agent appropriately increasing nitrogen and promoting maturity in pig manure composting. *Waste Management*, 39, 78-85.
10. Khan N., Clark I., Sánchez-Monedero M.A., Shea S., Meier S., Qi F., Kookana R.S., Bolan N. 2016. Physical and chemical properties of biochars co-composted with biowastes and incubated with a chicken litter compost. *Chemosphere*, 142, 14-23.
11. Metcalf, Eddy Inc. (1991) *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*, 3rd edn. McGraw-Hill, New York.
12. Öztürk, İ. 2014, *Katı atık yönetimi ve AB uyumlu uygulamaları* (2. baskı), İstanbul, Türkiye Belediyeler Birliği, p.
13. Öztürk, İ., Çallı, B., Ankan, O. ve Altınbaş, M. 2016, *Katı Atık Geri Dönüşüm ve Arıtma Teknolojileri* (El Kitabı-2.baskı), Ankara, Türkiye Belediyeler Birliği, p.
14. Peña, H.P.; Arias, K.; Santos, M.; Ramirez, B.; Sulbarán, J. Evaluación de la calidad química, física y biológica de tres compost producidos a partir de residuos agroindustriales. *Rev. Cient. UNET* 2018, 32, 11.
15. Rynk, R. 1992. *On-farm composting handbook*.
16. Tiqia, S.M., Tam, N.F.Y. and Hodgkiss, I.J. (1996) Microbial activities during composting of spent pig-manure sawdust litter at different moisture contents. *Bioresour Technol* 55, 201-206.
17. Tiqia, S.M. and Tam, N.F.Y. (1998) Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge. *Bioresour Technol* 65, 43-49.
18. Tüzel, Y. 1996. Ekolojik Tarım. Ekolojik Tarım Organizasyonu Derneği (ETO), İzmir.
19. Tosun, C., et al. 2011. "Composting of animal manure." *Sigma* 3 117-125
20. U.S.E.P.A. 1995. *A Guide to the Biosolids Risk Assessment for the EPA Part 503 Rule*, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Wastewater Management, EPA832-B-93-005.



Biyobozunurluk Üzerine

Şeyma Akbay

Toros Tarm ARGE Merkezi, Mersin, Türkiye

Biyobozunur atıklar biyotik veya abiyotik faktörlere bağlı olarak biyolojik olarak parçalanıp ve doğal yollarla bozunabilen malzemelerdir. Malzemelerin, kompostlama, aerobik sindirim, anaerobik sindirim süreçlerini yaşayan mikroorganizmalar tarafından, karbondioksit, su, metan veya daha basit organik bileşiklere parçalanmasına biyobozunurluk denir. Biyobozunur malzemeler doğada kolayca ayrışabilirler. Biyobozunur olmayan atıklar doğal koşullarda kolayca ayrıştırılmayan ve inorganik atık kaynaklarıdır. Bu yüzden dünyada yüzlerce yıl kalabilirler. Sonuç olarak ekosisteme büyük zarar veren ve biyobozunur olmayan bu malzemeler plastikler, piller, cam, metal ve tıbbi atıklardır.



Atıkların sınıflandırılması

Görsel Linki: <https://124.im/uPzyZD>

Plastikler biyobozunur olmayan sınıfta yer alır. Toprakta ve suda uzun yıllar parçalanmaz ve ekosistemlerde yaşayan canlılara zarar verir. Bozunmaları uzun yıllar süren bu plastikler tam olarak parçalanamazlar ve 5 mm den küçük olan plastiklere ayrışarak ikincil mikroplastik haline gelir. Son bulgularda, insan kanında ve anne sütünde dahi mikroplastiklere rastlanmıştır. Bu sebeplerden dolayı plastik malzemeler üzerine çalışmalar yapılarak biyoplastik malzemeler üretilmektedir.

Tablo 1. Biyobozunur olan ve biyobozunur olmayan malzemelerin özellikleri [6].

Biyobozunur	Biyobozunur olmayan
Biyolojik olarak ayrışabilen malzemeler mikroorganizmalar ve diğer canlı organizmalar tarafından doğal olarak ayrıştırılabilir.	Biyobozunur olmayan malzemeler ise hiçbir canlı organizma tarafından doğal olarak ayrıştırılmaz.
Bu tür malzemelerin ayrışması hava, güneş ışığı, su, toprak ve mikroorganizmaların varlığında gerçekleşir.	Ancak biyobozunur olmayan atıklar ekosistemde doğal olarak çürüyemez ve kirlilik yaratır.
Biyolojik olarak parçalanabilen atıklar mutfak atıkları, kağıt, organik atıklar, gibi organik şeylerden gelir.	Biyobozunur olmayan atıklar kimyasal olarak üretilir, bu nedenle insan faaliyetlerinden kaynaklandığı tespit edilmiştir.
Daha hızlı ayrışma oranı	Daha yavaş ayrışma oranı
Bu tür atıklar gübre, kompost, biyogaz üretimi için faydalıdır	Bu atıkların önce ayrıştırılması ve geri dönüştürülmesi gerekir ki bu da pahalı ve zaman alıcıdır.
Örn. Mutfak atıkları, insan atıkları, gübre, kanalizasyon çamuru, ölü hayvanlar, bitkiler vb.	Örn. Cam, plastik, metaller, tehlikeli maddeler, pestisitler, lifler vb.

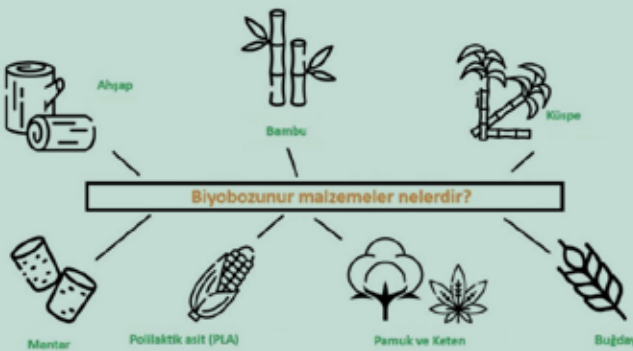
Biyoplastik kavramı iki farklı amaçla kullanılmaktadır. Bu terim ya bir plastiğin biyo-bazlı üretilip üretilmediğini ya da bir plastiğin biyolojik olarak parçalanıp parçalanmadığını ifade eder. Biyo-bazlı ve biyobozunur kelimeleri eş anlamlı değildir fakat bu terimlerin bazen birbirine karıştığını görmekteyiz. Biyobozunur olan ve olmayan malzemeler Tablo 2' de verilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılan ve biyobozunur olmayan polimerler varken, petrol bazlı ürünler kullanılarak üretilen ve biyobozunur olan polimerler de mevcuttur.

Tablo 2. Biyobozunur ve biyobozunur olmayan plastikler [13].

	Petrokimya (Petrol bazlı ürünler)	Kısmen biyobazlı (hem petrol hem de yenilenebilir kaynaklarla üretilir)	Biyobazlı Yenilenebilir kaynaklardan üretilir
Biyobozunur	PBAT, PBS(A), PCL	Nişasta Karışımları, PBS	PLA, PHA, TPS, Rejener selüloz
Biyobozunur olmayan	PE, PP, PET, PS, PVC, PUR	Biyo-PET, Biyo PTT, Biyo PUR, Nylon 6,10	Biyo-PE, Naylon 11, Naylon 10,10, Doğal Kauçuk

Biyo-bazlı malzemeler; biyokütleden üretilirler. %100 veya kısmen biyobazlı olabilirler. Biyokütle ise fosilleşmemiş malzemeleri içeren her türlü biyolojik kökenli malzemedir. Örneğin ahşap ve şekerden üretilen PLA plastik malzemeleri.

Biyobozunur malzemeler, doğada mikroorganizmalar tarafından biyolojik olarak parçalanabilme ve çevreye zarar vermeden yok olabilme yeteneğidir. Karmaşık maddelerin daha basit organik bileşiklere parçalanması ve daha sonra toprağa karışmasını sağlayan bu süreçte, bakteriler ve mantarlar biyobozunur plastiği yiyerek, karbonun biyokütle ve karbondioksit, hidrojenin de suya dönüşmesini sağlar ve malzemelerin doğadaki döngüye katılmalarına yardımcı olurlar.



Biyobozunur malzemeler

Görsel Linki: <https://i24.im/Q059>

Biyoplastik ambalajlar bitkilerden ve biyolojik malzemelerden elde edilir. Bitkisel katı ve sıvı yağlar, mısır nişastası, saman, odun talaşı, talaş, geri dönüştürülmüş gıda atıkları biyoplastik yapmak için polilaktik asitlere (PLA'lar) dönüştürülür.

Biyolojik olarak parçalanma ve parçalanma hızı çevresel koşullara bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Sıcaklık, mikroorganizmaların varlığı, oksijenin varlığı, suyun varlığı, ortamın pH'ı, toprak yapısı ve türü, nemli veya kuru iklim, yüzey suyu, deniz suyu, evde kompostlama, endüstriyel kompostlama gibi sistemlerde farklılıklar gösterebilir. Yukarıdaki resimde gördüğümüz malzemeler biyobozunurdur ve doğada parçalanmaları biyobozunur olmayan malzemelerle kıyaslanamayacak şekilde hızlıdır ve doğal bir süreçtir.

Biyobozunur malzemeler bile uygun şekillerde yönetilmediğinde kirliliğe yol açabilir ve çevreyi olumsuz etkileyebilir. Tüm bu kavramlarla beraber Kompostlanabilir plastikler aynı bir kategoride değerlendirilmelidir. Kompostlama koşullarında, yani 55-60°C lerde ve yüksek bağıl nemde biyolojik olarak parçalanabilen plastikler kompostlanabilir malzemelerdir. EN 13432 standardında yer alan ve ambalajların kompostlanabilirliğinin ölçüldüğü bu standartta aşağıda verilen konular ispatlanmalıdır;

- Malzeme ve ilgili bileşenleri doğal olarak ve biyolojik olarak parçalanabilir
- Malzemenin parçalanması, organik atıklar için bir kompostlama süreci içinde gerçekleşir
- Ürün kompostlama sürecini olumsuz etkilemez
- Ürün kompostun kalitesini olumsuz etkilemez

Biyobozunur plastikler günlük hayatta ve çeşitli alanlarda karşımıza çıkmaktadır. Çöp torbaları, çay poşetleri, hava yastıkları, kurşun kalemler, şişeler, malç filmler gibi. Plastiklerin doğada uzun süre kaldığını düşünürsek, biyobozunur ürünlerin sürdürülebilirlik için önemli bir adım olduğunu söyleyebiliriz. Günlük hayatımıza daha fazla yer edinmesi gereken biyobozunur ürünler bakteriler ve mantarlar gibi mikroorganizmalar tarafından besin kaynağı olarak kullanılır ve ayrıştırılarak daha basit formlara dönüştürülür. Bu süreçte bazı malzemeler toprağa iyice karışarak verimliliği artırır. Fakat üzerine düşünülmesi gereken problemler hala mevcuttur. Ortam şartlarına göre değişen bozunma süresi, ham maddelerin devamlılığı, bozunma sırasında ortaya çıkabilecek mikroplastikler araştırılması gereken konulardan bazılarıdır. Yeşil Kimyanın 12 kuralından biri olan 'Atıkları önlemek' yani atığı dönüştürmek veya geri dönüştürmekten öncesini kapsar, yani hiç atık oluşturmamak ana hedef olmalıdır. Atık oluşturulacaksa da doğada bozunabilir, geriye zararlı kimyasallar bırakmayan malzemeleri tercih etmek dünyamız için yapabileceğimiz küçük fakat kolektif bir bilinçle birleştiğinde önemli bir adımdır.

Kaynaklar:

1. <https://www.acs.org/greenchemistry/principles/12-principles-of-green-chemistry.html>
2. <https://ekolojist.net/biyobozunur-malzeme-nedir/>
3. <https://www.ekoloji.com/ekoloji/biyobozunurluk-nedir/>
4. <https://www.worldwildlife.org/blogs/sustainability-works/posts/is-biodegradable-and-compostable-plastic-good-for-the-environment-not-necessarily>
5. Bio based materials for barrier coatings on paper packaging, <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03241-2>
6. https://www.researchgate.net/publication/363246328_Bio-based_materials_for_barrier_coatings_on_paper_packaging
7. <https://www.geeksforgeeks.org/biodegradable-and-non-biodegradable/>
8. <https://www.zeuspackaging.com/uk/blog/Compostable-Sustainable-and-Biodegradable-Packaging-Materials/>
9. <https://renouvo.net/biomass-materials/biodegradable-products/>
10. <https://ims-tex.com/sustainable-plastic-materials-for-plastic-product-fabrication/>
11. <https://packmojo.com/help/bioplastic-vs-biodegradable-plastic/>
12. <https://blog.sendle.com/sustainable-packaging-guide>
13. <https://karaman.csb.gov.tr/sifir-atik-projesi-haber-223986>
14. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/408350>
15. <https://www.qms-esg.org/post/biyo-bazl%C4%B1-biyo-bozunur-plastik-ara%C5%9F%C4%B1mas%C4%B1>
15. <https://www.intechopen.com/chapters/84112>



İklim Değişikliğini Ele Almak İçin Karar Verme Stratejileri

Ali Yetgin
Toros Tarım ARGE Merkezi, Mersin, Türkiye

Özet:

İklim değişikliği daha önce hayal bile edilemeyen engeller ortaya çıkardığından, etkilerini ele almak için etkili karar verme teknikleri kullanılmalıdır. Jeomühendislik, adaptasyon ve azaltım dahil olmak üzere iklim değişikliğiyle mücadele için birçok karar verme seçeneği bu çalışmada incelenmiştir. Ayrıca, uzun vadeli etkileri ve belirsizlikleri dikkate alan sağlam, uyarlanabilir ve kapsayıcı karar alma süreçlerinin önemini vurgulamaktadır. Çalışma etkili iklim değişikliği yönetimi için çeşitli taktikleri içeren ve uluslararası iş birliğini teşvik eden kapsamlı bir stratejinin gerekli olduğunu öne sürmektedir.

Giriş

Küresel ısınma, güneş ısısının atmosferdeki karbondioksit ve metan gibi sera gazları tarafından hapsedilmesinden kaynaklanan ve çoğunlukla insan faaliyetlerinden kaynaklanan bir olgudur [1]. İklim değişikliğinin küresel olarak görülen birçok farklı etkisi vardır. Sıcaklık artışının bir sonucu olarak sıcak hava dalgaları daha yaygın ve yoğun hale gelmiştir. Isınma ortamının bir sonucu olarak eriyen buzulların ve kutup buzullarının bir sonucu olarak deniz seviyeleri yükselmektedir. Kıyıdaki şehirler ve düşük rakımlı ülkeler bundan ciddi risk altındadır. Okyanuslarımız, atmosfere salınan karbondioksitin artmasının bir sonucu olarak daha asidik hale gelmektedir. Bu, deniz yaşamını, mercan resiflerini ve kabuklu deniz hayvanlarını tehlikeye atar ve bu da genel okyanus ortamı üzerinde etkisi vardır. Yağış düzenleri iklim değişikliğinden etkilenir, bu da bazı bölgelerde aşırı kuraklık, bazılarında ise aşırı yağış ve sellere neden olur [2].



Şekil 1. İklim değişikliğinin çevreye etkisi

Görsel linki: <https://l24.im/007oI>

Vektör kaynaklı hastalıkların gelişimi, kötü hava kalitesinin neden olduğu solunum problemleri ve ısıya bağlı rahatsızlıkların artması, iklim değişikliğinin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinden sadece birkaçıdır [3]. Hava durumu değişiklikleri tarımsal üretimi azaltma potansiyeline sahiptir, bu da gıda kıtlığına ve gıda güvenliğini tehlikeye atabilecek daha yüksek gıda maliyetlerine neden olabilir. Dünyadaki yaşamın her yönü, iklim değişikliğinin geniş kapsamlı etkilerinden etkilenmektedir. Uluslararası, ulusal ve yerel düzeylerde, iklim değişikliğiyle mücadele için acil ve kapsamlı eylemlere ihtiyaç vardır.

İklim değişikliği, küresel, ulusal, yerel ve bireysel dahil olmak üzere birçok farklı düzeyde hızlı, iyi düşünülmüş eylemler gerektiren geniş kapsamlı etkileri olan karmaşık, çok yönlü bir konudur. Bu seçimler, politikalar oluşturmaktan ve altyapı oluşturmaktan kaynakları tahsis etmeye ve toplulukları tasarlamaya kadar her şeyi kapsar. Hem iklim değişikliğinin nedenlerini azaltmak hem de etkilerine hazırlanmak, etkili karar alma süreçleri gerektirmektedir. Sera gazı emisyonlarını azaltmayı,

sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçmeyi ve ekolojik ve toplumsal dayanıklılığı artırmayı amaçlayan önlemler için bir yol haritası görevi görürler [4,5]. Bu taktikler aynı zamanda iklim değişikliği ile ilgili risklerin ve belirsizliklerin müzakere edilmesine ve uygulanan eylemlerin hem sosyal hem de ekonomik olarak uygulanabilir olduğundan emin olunmasına yardımcı olur. Ayrıca, çeşitli taraflar arasında iş birliği ve koordinasyon sağlayarak bu küresel krizin üstesinden gelmek için gereken uluslararası iş birliğini teşvik ederler.

İklim değişikliğinin geniş kapsamlı etkileri nedeniyle, küreselden bireye kadar toplumun her düzeyinde kararlar alınmalıdır. Ülkeler, küresel ölçekte sera gazı emisyonlarını azaltmak için zorlu hedefler belirlemek ve bunlara ulaşmak için iş birliği yapmalıdır [6]. Birçok ülkenin iklim değişikliğini hafifletmek için farklı kapasiteleri ve yükümlülükleri olduğu göz önüne alındığında, bu zor görüşmeler gerektirmektedir. Burada, etkili karar verme teknikleri bilimsel uzmanlık, diplomatik zeka ve iklim değişikliğinin uzun vadeli etkilerinin tam olarak anlaşılmasını gerektirir. Hükümetler, emisyonları azaltmanın yanı sıra iklim değişikliğinin etkilerine karşı dayanıklılığı artıran ulusal politikalar uygulamalıdır. Arazi kullanımı, altyapının geliştirilmesi ve diğer konular hakkında kararlar alınmalıdır. Ek olarak, iklim değişikliği tahminlerindeki doğal belirsizlikler göz önüne alındığında, bu faaliyetlerin kısa vadeli maliyetleri ile uzun vadeli faydaları arasında bir denge kurulmasını da gerektirir [7].

Topluluklar ve yerel yönetimler iklim değişikliğiyle mücadelede önemli rol oynamalıdır. Tarımsal üretimdeki değişikliklerden, aşırı hava olaylarından ve küresel ısınma nedeniyle artan deniz seviyelerinden sıklıkla ilk elden etkilenirler. Yerel kırlanganlıkların ve kapasitelerin değerlendirilmesi, en savunmasız olanların korunmasına öncelik verilmesi ve iklim konularının toplum planlamasının tüm yönlerine dahil edilmesi, bu düzeydeki karar alma sürecinin bir parçasıdır [8]. Bu durumda etkili karar verme teknikleri sıklıkla yakın topluluk etkileşimi ve sosyal eşitliğe güçlü vurgu gerektirir. Bireyler ayrıca iklim değişikliğine uyum sağlamaya ve hafifletmeye yardımcı olacak kararlar almalıdır. İklim değişikliğiyle mücadelede etkili karar verme teknikleri, bilim hakkında kapsamlı bilgi, ileriye dönük bakış açısı, adalet ve hakkaniyete bağlılık ve ayrıca belirsizliklerle başa çıkma ve riskleri yönetme kapasitesi gerektirir [9]. İklim değişikliğini ele almak, topluluklarımızın ve ekonomilerimizin birçok alanında radikal değişiklikler içereceğinden, aynı zamanda iş birliğine ve yeniliğe açık olmayı da gerektirir.

Karar Verme Stratejilerine Genel Bakış

İklim değişikliği karar verme teknikleri, iklim değişikliğinin nedenlerini ve etkilerini azaltmayı amaçlayan çok çeşitli taktikleri kapsar. Bu taktikler genellikle üç kategoriye ayrılır: jeomühendislik, adaptasyon ve azaltma.

İklim Değişikliklerinde Azaltma Stratejileri

İklim değişikliği ile ilgili olarak azaltım, sera gazı emisyonunu azaltmak veya durdurmak için alınan önlemleri ifade eder. Kaynakları azaltmak veya zararlı gazların yutaklarını iyileştirmek için harekete geçmeyi gerektirir. Sera gazlarını atmosfere salan süreçler veya eylemler kaynak olarak adlandırılırken, bunları ortadan kaldıranlar yutaklar olarak adlandırılır. Ulaşım, sanayi, enerji üretimi ve ormansızlaşma için fosil yakıtların yakılması, karbondioksit, metan ve azot oksit gibi sera gazlarını büyük ölçüde serbest bırakır [10]. Azaltma tekniklerinin amacı, bu yüksek emisyonlu faaliyetlerden daha çevre dostu seçeneklere geçmektir. Fosil yakıtlardan daha az sera gazı üreten güneş, rüzgar, hidro ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş, ana azaltma stratejilerinden biridir. Azaltmanın bir diğer önemli bileşeni, genel enerji talebini azaltan enerji verimliliği önlemlerinin uygulanmasıdır [11]. Bu, endüstriyel operasyonların, binaların, ulaşımın ve cihazların üretkenliğini artırarak gerçekleştirilebilir.

Tablo 1. İklim değişikliğini azaltma stratejilerinin artıları ve eksileri.

	Avantaj	Dezavantaj	Kaynak
Yenilenebilir Enerji	1. Sera gazı emisyonlarını azaltır. 2. Yenilenebilir kaynaklar tükenmez. 3. Ekonomik büyümeyi ve istihdam yaratmayı teşvik edebilir.	1. Önemli miktarda ön yatırım gerektirir. 2. Bazı yenilenebilir enerji türleri kesintilidir (örneğin, güneş ve rüzgar). 3. Arazi kullanımı ve ekosistem etkileri.	[12]
Enerji Verimliliği	1. Sera gazı emisyonlarını azaltır. 2. Zaman içinde para tasarrufu sağlar. 3. Genellikle iyileştirilmiş hava kalitesi gibi ortak faydaları vardır.	1. İlk yatırım gerektirir. 2. Geri tepme etkisi potansiyeli (verimlilik tasarrufu nedeniyle artan tüketim).	[13]
Sürdürülebilir Arazi Kullanımı ve Ormancılık	1. Önemli miktarda karbon tutabilir. 2. Genellikle ekosistemler ve biyolojik çeşitlilik için ortak faydaları vardır. 3. Yerel geçim kaynaklarını destekleyebilir.	1. Ormansızlaşma ve arazi kullanımı değişikliğinden kaynaklanan tehditler. 2. Diğer arazi kullanımları ile potansiyel çatışmalar. 3. Etkili yönetim ve uygulama gerektirir.	[14]
Karbon Yakalama ve Depolama (CCS)	1. Fosil yakıtlı enerji santrallerinden ve ağır sanayiden kaynaklanan emisyonları azaltabilir. 2. Biyoenerji (BECCS) ile birleştirildiğinde negatif emisyon potansiyeli.	1. Yüksek maliyet ve enerji gereksinimleri. 2. Uzun vadeli depolama güvenliği ile ilgili belirsizlikler. 3. Belirli türdeki emisyon kaynaklarıyla sınırlıdır.	[15]

Ormancılık, tarım ve arazi kullanım uygulamalarındaki değişiklikler de azaltmanın bir parçasıdır. Örnek olarak, karbondioksiti atmosferden çeken ormanların bakımı ve büyütülmesi, azaltma çabalarında büyük bir fark yaratabilir. Benzer şekilde, sürdürülebilir tarım tekniklerinin uygulanması tarımsal emisyonları azaltabilir. Diğer bir azaltma seçeneği, karbondioksitin kaynağından (enerji santralleri gibi) uzaklaştırılmasını ve atmosfere girmesini önlemek için yeraltına gömülmesini içeren karbon yakalama ve depolamadır (CCS) [16]. Azaltılmış sera gazı emisyonları ve iyileştirilmiş yutaklar, iklim değişikliğinin altında yatan nedenleri ele almayı amaçlayan azaltma tekniklerinin hedefleridir. Bu taktikler, Paris Anlaşması'nın küresel sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelerin 2 santigrat derecenin çok altında tutma hedefine ulaşmak için

gereklidir [17]. Bununla birlikte, iklim değişikliğinin etkilerini etkili bir şekilde yönetmek için, azaltımın adaptasyon yöntemleriyle desteklenmesi gerekir. Azaltım, iklim değişikliğini ele almak için gereken genel yanıtın yalnızca bir bileşenidir.

İklim Değişikliklerinde Adaptasyon Stratejileri

İklim değişikliği ile ilgili olarak kullanılan "adaptasyon" terimi, mevcut veya öngörülen iklime ve etkilerine uyum sağlama sürecini ifade eder. Zararı azaltmak, fırsatları yakalamak veya iklim değişikliğinin etkilerini yönetmek için süreçlerimizde veya çalışma yöntemlerimizde ayarlamalar ve değişiklikler yapmayı gerektirir. Adaptasyonun amacı, iklim değişikliğinin etkilerine karşı duyarlılığımızı azaltmak ve direncimizi veya onlardan geri dönme kapasitemizi artırmaktır [18]. Bireysel faaliyetler, topluluk girişimleri ve hatta ulusal politikaların tümü uyum önlemleri olarak kullanılabilir. Tarım, su kaynakları, sağlık, altyapı ve ekosistemler dahil olmak üzere çok çeşitli endüstriler de dahil olabilir.



Şekil 2. İklim değişikliğinin dünya üzerindeki etkisi

Görsel linki: <https://124.im/xAPHf>

Tarım sektöründeki adaptasyon çabalarına örnek olarak, mahsul türlerinin kuraklığa dayanabilecek şekilde değiştirilmesi, ekim ve hasat tarihlerinin değiştirilmesi veya su tasarrufu sağlayan sulama yöntemlerinin uygulanması sayılabilir. Sulama ve su depolama sistemlerinde yapılan iyileştirmeler, su tasarrufu stratejilerinin uygulanması veya kuraklık yönetim planlarının oluşturulması, su kaynakları için adaptasyon stratejilerinin bazı örnekleridir [19]. Artan ısı stresine veya vektör kaynaklı hastalıkların yayılmasına uyum sağlamak için halk sağlığı altyapısının iyileştirilmesi gerekebilir. Altyapı açısından bu, yapıların sel veya deniz seviyesinin yükselmesi tehlikesi altındaki alanlardan uzaklaştırılmasını veya aşırı hava olaylarına direnmek için binaların ve ulaşım ağlarının güncellenmesini gerektirebilir. Ekosistemlerde adaptasyon, fırtına dalgaları tamponu görevi gören kıyı sulak alanları veya su kaynaklarını kontrol etmeye yardımcı olan ormanlar gibi hayati işlevler sunan doğal dünyanın bölümlerini korumayı ve yenilemeyi gerektirebilir [20].

Tablo 2. İklim değişikliğine uyum stratejilerinin artıları ve eksileri.

	Avantaj	Dezavantaj	Kaynak
Değişen Tarım Uygulamaları	1. Değişen iklim koşulları karşısında gıda güvenliğini artırabilir. 2. Aşırı hava olaylarına karşı dayanıklılığı artırabilir. 3. İyileştirilmiş toprak sağlığı gibi ortak faydalar sağlayabilir.	1. Çiftçilik uygulamalarında ve geleneklerinde önemli değişiklikler gerektirebilir. 2. Pahalı olabilen yeni tohum veya cins türlerine erişim gerektirebilir. 3. Bazı adaptasyon önlemlerinin çevresel yan etkileri olabilir.	[21]
Su Yönetiminin İyileştirilmesi	1. Hem kuraklıklara hem de seller karşı dayanıklılığı artırabilir. 2. Su kalitesinin iyileştirilmesine katkıda bulunabilir. 3. Su kaynaklarının daha verimli kullanılmasına yol açabilir.	1. Altyapıya önemli yatırımlar gerektirebilir. 2. Su yönetimindeki değişikliklerin aşağı havza etkileri olabilir. 3. Su haklarında ve yönetim yapılarında değişiklik gerektirebilir.	[22]
Halk Sağlığı Altyapısının Geliştirilmesi	1. İklim değişikliğinin sağlık üzerindeki etkilerini azaltabilir. 2. Genel olarak halk sağlığını iyileştirir. 3. Uzun vadede sağlık maliyetlerini azaltabilir.	1. Sağlık altyapısına ve personele yatırım yapılmasını gerektirir. 2. Halk sağlığı politikalarında ve uygulamalarında değişiklik gerektirebilir. 3. İklim değişikliğinin sağlık üzerindeki etkilerini kesin olarak tahmin etmek zor olabilir.	[23]
Altyapının Geliştirilmesi	1. Aşırı hava olaylarının etkilerini azaltabilir. 2. Daha dayanıklı topluluklara ve ekonomilere yol açabilir. 3. Gelişmiş ulaşım veya enerji sistemleri gibi ortak faydalar sağlayabilir.	1. Önemli yatırımlar gerektirir. 2. Bina kodlarında ve diğer yönetmeliklerde değişiklik gerektirebilir. 3. Bazı altyapı projelerinin çevresel etkileri olabilir.	[24]
Ekosistemlerin Korunması ve Geri Döndürülmesi	1. Fırtına dalgaları veya seller gibi iklim etkilerine karşı tampon oluşturmaya yardımcı olabilir. 2. Biyoçeşitlilik ve rekreasyon için ortak faydalar sağlayabilir. 3. Yerel geçim kaynaklarını destekleyebilir.	1. Arazi kullanımında tartışmalı olabilecek değişiklikler gerektirebilir. 2. Etkili yönetim ve uygulama gerektirir. 3. Bazı ekosistem tabanlı adaptasyon stratejilerinin etkinliği belirsiz olabilir.	[25]

Uyum önlemlerinin ortak yararları bulunmaktadır. Örneğin kentsel yeşillendirme, hava kalitesini artırabilir, biyolojik çeşitliliği artırabilir ve sakinlere eğlence seçenekleri sunabilir. Ancak adaptasyon, hafifletmenin yerini alamaz. Adaptasyon, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltabilse de tüm olumsuz etkileri durduramaz. Sonuç olarak, adaptasyon ve hafifletme, her ikisi de iklim değişikliğini ele almak için gerekli olan tamamlayıcı taktiklerdir.

İklim Değişikliklerinde Jeomühendislik Stratejileri

İklim değişikliğinin, özellikle küresel ısınmanın etkilerini azaltmayı amaçlayan büyük ölçekli insan müdahaleleri, bazen iklim mühendisliği olarak da bilinen jeomühendislik olarak adlandırılır. Bu yaklaşımların iki ana türü tipik olarak Karbondioksit Giderme (CDR) ve Güneş Radyasyonu Yönetimidir (SRM). Doğrudan karbondioksit giderimi ve sekestrasyonu, CDR'nin hedefleridir. Birkaç örnek, ağaçlandırma (CO₂'yi emmek için ağaçların dikilmesi), karbon yakalama ve depolama (CO₂'yi atmosferden uzaklaştırmak ve depolama (CO₂'yi atmosferden kullanılması) ve okyanus gübrelemesidir (CO₂'yi emebilen fotosentetik organizmaların büyümesini teşvik etmek için okyanusa besin eklenmesi) [26]. CDR, atmosferdeki sera gazı seviyesini düşürerek iklim değişikliğinin altında yatan

nedeni ele almayı amaçlamaktadır.

Tablo 3. Jeomühendislik stratejilerinin artıları ve eksileri.

	Avantaj	Dezavantaj	Kaynak
Karbondioksit Giderimi (CDR)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sera gazı konsantrasyonlarını azaltarak iklim değişikliğinin temel nedenini ele alır. 2. Ağaçlandırma gibi bazı teknikler ekosistemler için ortak faydalar sağlayabilir. 3. Teknolojik gelişmeler bazı yöntemleri daha etkili hale getirebilir. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Birçok teknik şu anda pahalı ve enerji yoğunudur. 2. CO₂ seviyelerini önemli ölçüde azaltmak on yıllar alabilir. 	[27]
Güneş Radyasyonu Yönetimi (SRM)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Potansiyel olarak gezegeni hızlı bir şekilde soğutabilir. 2. Bazı yöntemlerin uygulanması nispeten ucuz olabilir. 3. Küresel ısınma felakete dönüşürse "son çare" seçeneği olabilir. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. İklim değişikliğinin temel nedenini (sera gazı emisyonları) ele almaz. 2. Hava modellerindeki değişiklikler gibi önemli ve öngörülemeyen yan etkilere sahip olabilir. 3. Tek taraflı eylem riski de dahil olmak üzere karmaşık etik ve yönetim konularını gündeme getirir. 	[28]

SRM, güneş enerjisinin küçük bir kısmını uzaya geri yansıtarak gezegeni soğutmaya çalışmaktadır. Örnekler arasında bulut parlatma (deniz suyunun bulutlara püskürtülerek daha yansıtıcı hale getirilmesi) ve stratosferik aerosol enjeksiyonu (güneş ışığını yansıtma için yansıtıcı parçacıkların yüksek atmosfere salınması) sayılabilir. SRM'nin ana hedefi, iklim değişikliğinin etkileri için geçici bir çare sunabilecek Dünya'nın sıcaklığını hızla azaltmaktır [29]. Jeomühendislik, iklim değişikliğinin bazı yönlerini ele alma potansiyeline sahiptir, ancak ilgili riskler ve belirsizlikler nedeniyle, bu yaklaşımlar sıklıkla son seçenek olarak görülmektedir. Sera gazı emisyonlarını azaltmanın veya halihazırda mevcut olan iklim değişikliğinin etkilerine uyum sağlamanın yerine geçmezler. Bununla birlikte, dikkatli bir şekilde kontrol edilirse, bu taktikleri tamamlayabilirler. Jeomühendislikle ilgili potansiyel etkileri tam olarak anlamak için daha fazla araştırma gereklidir. Jeomühendislik, muazzam etik, yasal ve yönetim zorlukları gündeme getirir.

Sonuç

Artan iklim sorunu karşısında mantıklı karar verme tekniklerini kullanmak çok önemlidir. Bu çalışma, jeomühendislik, adaptasyon ve azaltma dahil olmak üzere farklı taktikleri birleştirmenin değerini vurgulamaktadır. Tek başına alınan herhangi bir tekniğin yetersizliğini göstererek çeşitli, bütüncül bir yaklaşıma duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır. Ayrıca, bulgularımız iklim değişikliği yönetimi için etkili risk yönetimi, paydaş katılımı ve disiplinler arası iş birliğinin gerekli olduğunu göstermektedir. Durumun ciddiyeti nedeniyle gezegenin sürdürülebilirliğini sağlamak için ulusal sınırların ötesinde iş birliği yapılması gerekmektedir.

Kaynakça:

1. Kweku, D., Bismark, O., Maxwell, A., Desmond, K., Danso, K., Oti-Mensah, E., ... & Adormaa, B. (2018). Greenhouse effect: greenhouse gases and their impact on global warming. *Journal of Scientific research and reports*, 17(6), 1-9.
2. Trenberth, K. E. (2005). The impact of climate change and variability on heavy precipitation, floods, and droughts. *Encyclopedia of hydrological sciences*, 17, 1-11.
3. Moreno, A. R. (2006). Climate change and human health in Latin America: drivers, effects, and policies. *Regional Environmental Change*, 6(3), 157-164.
4. Olabi, A. G., Obaideen, K., Elsaid, K., Wilberforce, T., Sayed, E. T., Maghrabie, H. M., & Abdelkareem, M. A. (2022). Assessment of the pre-combustion carbon capture contribution into sustainable development goals SDGs using novel indicators. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 153, 111710.
5. Ali, E. B., Anufriev, V. P., & Amfo, B. (2021). Green economy implementation in Ghana as a road map for a sustainable development drive: A review. *Scientific African*, 12, e00756.
6. Zhao, X., Ma, X., Chen, B., Shang, Y., & Song, M. (2022). Challenges toward carbon neutrality in China: Strategies and countermeasures. *Resources, Conservation and Recycling*, 176, 105959.
7. Saari, E., Lehtonen, M., & Toivonen, M. (2015). Making bottom-up and top-down processes meet in public innovation. *The Service Industries Journal*, 35(6), 325-344.
8. Villa, F., & McLEOD, H. (2002). Environmental vulnerability indicators for environmental planning and decision-making: guidelines and applications. *Environmental management*, 29, 335-348.
9. Ikeme, J. (2003). Equity, environmental justice and sustainability: incomplete approaches in climate change politics. *Global environmental change*, 13(3), 195-206.
10. Houghton, R. A. (2005). Tropical deforestation as a source of greenhouse gas emissions. *Tropical deforestation and climate change*, 13.
11. Saidur, R., Rahim, N. A., & Hasanuzzaman, M. (2010). A review on compressed-air energy use and energy savings. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14(4), 1135-1153.
12. Le, T. H., Chang, Y., & Park, D. (2020). Renewable and nonrenewable energy consumption, economic growth, and emissions: International evidence. *The Energy Journal*, 41(2).
13. Zhang, S., Worrell, E., Crijs-Graus, W., Wagner, F., & Cofala, J. (2014). Co-benefits of energy efficiency improvement and air pollution abatement in the Chinese iron and steel industry. *Energy*, 78, 333-345.
14. Van Oosterzee, P. (2014). Integration of the ecosystem sector and climate change mitigation in carbon accounting schemes: Practical and policy approaches. Charles Darwin University (Australia).
15. Vergragt, P. J., Markusson, N., & Karlsson, H. (2011). Carbon capture and storage, bio-energy with carbon capture and storage, and the escape from the fossil-fuel lock-in. *Global Environmental Change*, 21(2), 282-292.
16. Oh, T. H. (2010). Carbon capture and storage potential in coal-fired plant in Malaysia—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 2697-2709.
17. Rogelj, J., Den Elzen, M., Höhne, N., Fransen, T., Fekete, H., Winkler, H., ... & Meinshausen, M. (2016). Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 C. *Nature*, 534(7609), 631-639.
18. Keim, M. E. (2008). Building human resilience: the role of public health preparedness and response as an adaptation to climate change. *American journal of preventive medicine*, 35(5), 508-516.
19. Iglesias, A., Garrote, L., Flores, F., & Moneo, M. (2007). Challenges to manage the risk of water scarcity and climate change in the Mediterranean. *Water resources management*, 21, 775-788.
20. Bell, J., & Lovelock, C. E. (2013). Insuring mangrove forests for their role in mitigating coastal erosion and storm-surge: an Australian case study. *Wetlands*, 33(2), 279-289.
21. Lipper, L., Thornton, P., Campbell, B. M., Baedeker, T., Braimoh, A., Bwalya, M., ... & Torquebiau, E. F. (2014). Climate-smart agriculture for food security. *Nature climate change*, 4(12), 1068-1072.
22. Cornelis, W., Waweru, G., & Araya, T. (2019). Building resilience against drought and floods: the soil-water management perspective. *Sustainable Agriculture Reviews 29: Sustainable Soil Management: Preventive and Ameliorative Strategies*, 125-142.
23. Chavula, P., Alemu, B., Ntezimana, M. G., & Kazekula, E. M. (2022). Carbon Trading to Combat Climate Change. *Carbon*, 6(9), 55-61.
24. Roseland, M. (2000). Sustainable community development: integrating environmental, economic, and social objectives. *Progress in planning*, 54(2), 73-132.
25. McVittie, A., Cole, L., Wreford, A., Sgobbi, A., & Yordi, B. (2018). Ecosystem-based solutions for disaster risk reduction: Lessons from European applications of ecosystem-based adaptation measures. *International journal of disaster risk reduction*, 32, 42-54.
26. Mangaraj, S., Pradhan, P. P., Pradhanand, S. R., & Guru, A. (2018). Carbon Sequestration: An Antidote for Climate Change. Chief Editor Dr. RK Naresh, 3.
27. Board, O. S., & National Research Council. (2015). *Climate intervention: Carbon dioxide removal and reliable sequestration*. National Academies Press.
28. Ming, T., Liu, W., & Caillol, S. (2014). Fighting global warming by climate engineering: Is the Earth radiation management and the solar radiation management any option for fighting climate change?. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 792-834.
29. Thomes, J. E., & Pope, F. D. (2014). *Why do we need Solutions to Global Warming?* 1-21.
30. https://eige.europa.eu/gender-mainstreaming/policy-areas/environment-and-climate-change?language_content_entity=en
31. <https://www.planadviser.com/low-moderate-income-workers-face-brunt-climate-change-effects/>



Enerji Taşıyıcısı Olarak Hidrojen ve Amonyakın Fonksiyonu

Ahmet Ozan Gezerman
Toros Tarım ARGE Merkezi, Mersin, Türkiye

Temiz teknolojiler veya hidrojen gibi karbondioksit salmayan teknolojiler ulaşım, enerji ve hizmet sektörlerinin yanı sıra çeşitli endüstriyel ve konut ortamlarında da kullanılmaktadır. Temiz ve sürdürülebilir enerjinin yararlı bir vektörüne dönüşme potansiyeline sahiptir. Ne yazık ki, hidrojenin yanıcı, sızıntılı ve patlayıcı yapısı, bu enerji kaynağının halk tarafından, yani uzmanlar dışındaki kişiler tarafından kullanılmasını kullanışsız hale getiriyor. Bu, son derece dikkatli olmayı gerektiriyor. Böylece hidrojenin kullanımı şüphesiz elektrik kadar güvenli hale gelecektir. Çok paraya mal olacak ve uzun zaman alacak [1].



Şekil 1. Hidrojen ekonomisi

Görsel linki: <https://124.im/JKnp>

Hidrojen toplumunun önünü açmak için alternatif bir stratejiye veya bütünsel yaklaşım dediğimiz şeye ihtiyaç duyulabilir. Başka bir deyişle, hidrojenin bir enerji taşıyıcısı olarak yaygın kullanımı, yenilerini yaratmaktan ziyade mevcut çevre ve enerji sorunlarını çözmelidir. Makale şu stratejileri tartışıyor: (i) taşıma ve depolama ihtiyacını ortadan kaldırmak için yerinde hidrojen üretmek; (ii) toplanan CO₂'yi hidrojenlemek için yenilenebilir hidrojenin kullanılması; ve (iii) katı yakıtlardan hidrojen üretmek.

Küresel enerji sistemi şu anda önemli ölçüde değişiyor. ve önümüzdeki yıllarda bu dönüşüm hızlanacak. Mutlaka yükselecektir. Daha önce var olmayan enerji sistemleri ve politikalarıyla ilgili sürdürülebilirlikle ilgili konular dikkatli bir şekilde inceleniyor. Sürdürülebilirlik, uzun vadeli enerji kaynaklarının bulunabilirliği ve çevresel kaygıların el ele yürüdüğü açıktır. Sera gazı emisyonlarıyla ilgili tehlikeler, yani fosil yakıtların yakılmasının yol açtığı CO₂ emisyonları, mevcut enerji sisteminin ne kadar acilen değiştirilmesi gerektiğini açıkça ortaya koyuyor. Bu durumun temel nedeni, enerji sistemlerinin insan faaliyetinin her yönünü etkileyen geniş sosyo-teknik sistemler olmasıdır. Aynı zamanda jeopolitikten ekonomiye kadar sosyal alanların da bu sistemler üzerinde etkisi bulunmaktadır.

Bir enerji sistemi, enerji taşıyıcılarının dağıtımı (gaz veya elektrik şebekeleri gibi), kaynakların kullanılabilir enerji veya enerji taşıyıcılara dönüştürülmesi (rafinaj veya elektrik üretimi gibi) ve enerjinin toplanması ve taşınması gibi çeşitli sistemlerden oluşur. kaynaklar (madencilik veya boru hattı inşaatı gibi). İçerisinde alt sistemler bulunmaktadır. Enerji sisteminin bir unsurunun değiştirilmesinin sistemin tamamı üzerinde etkisi vardır. Her enerji alt sistemiyle de belirli tehlikeler ilişkilidir.

Benzersiz bir enerji türü hidrojendir. Temiz teknolojilerle (yani karbondioksit salmayan teknolojilerle) üretilip ulaşım, enerji, sanayi ve konut sektörlerinde sürdürülebilir ve temiz enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Ancak hidrojenin yanıcılığı, sızdırmazlığı ve patlama eğilimi nedeniyle genel olarak son derece dikkatli kullanılması gerekiyor; özellikle de yalnızca uzmanlar tarafından değil, büyük topluluklar tarafından da. Hidrojenin benimsenmesi kuşkusuz biraz zaman alacak ve elektrik kadar güvenli hale gelmesi için önemli mali harcamalar gerektirecektir.

Su ile reaksiyonlar yoluyla Ni, Fe, V, Mn, Ti, Ag, Ca, Zn, Zr ve Al gibi metaller hidrojen oluşturmak için kullanılabilir. Örneğin hidrojen üretiminin tahmini oranlarından bazıları şunlardır: Bir gram magnezyumdan 0,95 litre hidrojen elde edilirken, bir gram alüminyumdan 1,244 litre hidrojen elde edilir. Alüminyumun alternatif sistemlere göre düşük

maliyet ve kullanılabilirlik, normal koşullar altında reaksiyona girmeme, depolama kolaylığı, taşıma güvenliği ve toksik olmama gibi birçok avantajı vardır.

Su, alüminyumun üzerinde, metalin kimyasal olarak reaksiyona girmesi için çıkarılması gereken doğal bir oksit tabakası oluşturur. Bu işlem alüminyumun aktivasyonu olarak bilinir. Çok sayıda bilim adamı, alüminyumu aktive etmek için, iyot buharı işlemi, süperkritik reaksiyon, NaOH veya KOH çözeltileri ile metal yüzey işlemi ve metal alaşımları (galyum-indiyum kolay eriyenler) veya aktivatör metaller (cıva, galyum ve indiyum) ile yüzey etkileşimi dahil olmak üzere çeşitli yöntemleri incelemiştir).



Görsel linki: <https://124.im/PRIL0h>

Yenilenebilir ve temiz olmasına rağmen rüzgar ve güneş enerjisi, elektrik üretiminin ara sıra kullanılan yöntemleridir. Gündüz PV elektriğini ve gece gibi elektrik kullanımının düşük olduğu dönemlerde rüzgardan üretilen elektriği depolamanın bir yöntemi, elektrik depolamayla ilgili zorlukları dikkate alarak yenilenebilir elektrik kullanarak suyun elektrolizi yoluyla hidrojen üretmektir. Katalitik proseslerin kullanılmasıyla, farklı CO₂ yoğun endüstriler tarafından metanol ve dimetil eter gibi sıvı yakıtlara veya metan gazı gibi gazlı yakıtlara salınan CO₂'den temiz veya yeşil hidrojen üretilir. Bu yöntem içten yanmalı motorlarda ve gaz türbinlerinde çalışır. Ayrıca yanmalı motorlar gibi iyi optimize edilmiş enerji dönüşüm teknolojilerinin kullanılmaya devam edilmesi de mümkün olacak.

Önemli bir sera gazı karbondioksittir. Enerji santrali baca gazlarından ve karbon yoğun endüstriyel proseslerden karbon dioksitin toplanması, atmosferik CO₂ emisyonlarının azaltılması ihtiyacından kaynaklanmaktadır. CO₂'yi atmosferden absorbe etmeye yönelik birçok strateji halen araştırılmaktadır. Günümüzde ayırma yöntemleri oldukça gelişmiş ve yaygın olarak uygulanabilmektedir. CO₂ yakalamaya yönelik membran yöntemi, %15 ve daha yüksek baca gazı CO₂ konsantrasyonları için çok kullanışlıdır ve minimum enerji kullanır. Örneğin çimento sektöründeki yüksek CO₂ konsantrasyonlarına sahip kalsinasyon fırınları bu CO₂ toplama tekniği için çok uygundur. Elektrikli Yanma ve oksijenle zenginleştirilmiş havanın kullanılması, enerji santrallerindeki CO₂ konsantrasyonunu artırabilir.

Yakalanan karbondioksiti kullanıp katma değeri olan bir ürüne dönüştürmenin önemli mali faydası var. Dönüşüm prosedürleri şu şekilde anılır: CO₂ hidrojenasyonu. Bu kimyasal reaksiyonların ilerlemesi için ısının veya katalitik süreçlerin yardımına ihtiyaç vardır.

Her iki prosesin de temel mekanizması, gerekli reaksiyonları başlatan ve destekleyen aktif kimyasal türlerin kinetik ve termodinamik kısıtlamalar altında üretilmesidir. Birçok katalizör kullanılmış ve bunların bu dönüşüm sürecini hızlandırmak için kullanımları kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. CO₂ molekülünün parçalanmasına yardımcı olan aktif türlerin veya radikallerin üretimi birincil mekanizmalardan biridir. Bu radikaller (OH veya O gibi) oluştuğundan sonra amaçlanan reaksiyonları yaymak için yeterli enerjiye sahip olmaları gerekir. Plazma sistemleri bu reaktif ortamın üretilebileceği yollardan biridir.

Son zamanlarda termal olmayan atmosferik plazmalara (ANTP) büyük ilgi duyulmaktadır [13, 14]. Korona deşarjı, dielektrik bariyer şarjı, hava basınçlı plazma jeti (APPJ) ve mikro içi boş katot deşarjı (MHCD) dahil olmak üzere her biri kendine özgü özelliklere sahip bir dizi elektrik deşarjı, ANTP'ler üretebilir. Termal olmayan plazmaların yüksek elektron sıcaklığı (~105 K) önemli bir özelliktir, oysa gaz kütle sıcaklığı ortam sıcaklığında kalır. Bu yöntemde moleküller yüksek enerjili elektronlar (6~10 eV) tarafından parçalanır ve bu dönüşüm süreci gazın sıcaklığından bağımsız olarak gerçekleşir.

Önceki paragraflarda bahsedilen prosedürler Bu bölümde, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla suyun elektrolize edilmesiyle üretilen hidrojenin ve ekstrakte edilen CO₂'nin, optimizasyon ile geleneksel sıvı veya gaz yakıtlar üretmek üzere nasıl hidrojenlenebileceği vurgulanmaktadır. Bu strateji, fosil yakıtlardaki karbonu farklı endüstrilere dağıtması açısından anlamlıdır. Proses sektörlerinde (çimento endüstrisi gibi) yakalanan ve salınan CO₂'nin ulaştırma sektörü için karbon içeren yeni bir yakıt olarak kullanılması bunun bir örneğidir.

Amonyanın hidrojen taşıyıcısı olarak yararları ve sakıncaları

Küresel enerji manzarası, son zamanlarda yeni bir temiz, düşük karbonlu enerji geçiş dalgasıyla önemli bir dönüşüme tanık oldu. Gaz enerjisi üretimi, dağıtılmış enerji tedariki, mikro şebekeler, çoklu enerji tamamlama vb. üzerindeki yoğunlaşmasıyla, hidrojen enerjisi ve saf elektriğin hakim olduğu yeni enerji taşımacılığı, geleneksel petrol ve gaz taşıma enerjisinin yerini alma potansiyeline sahiptir. Enerjinin üretimini ve taşınmasını yönlendirir ve hızlı bir şekilde sızar.

Temiz olma, yüksek enerji yoğunluğuna sahip olma ve yüksek dönüşüm verimliliğine sahip olma gibi avantajlara sahip olan birkaç farklı hidrojen (H₂) kaynağı vardır.

Hidrojen enerjisi karbon yaymadığı için yaygın bir ikincil enerji kaynağıdır. Depolanabilirlik açısından elektriğe üstündür ve enerji özelliklerini onunla paylaşır.

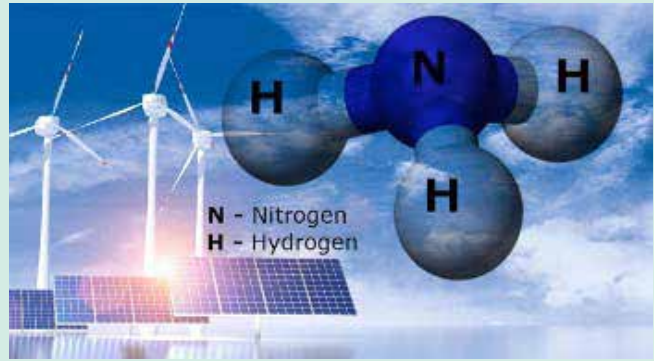
Hidrojen enerjisinin, düşük karbonlu bir toplumda önemli bir rol oynayacağı ve insanların sosyal ve ekonomik ilerlemeyi yönlendiren verimlilik, düşük karbonlu enerji ve çevre koruma ihtiyacının bir sonucu olarak gelecekteki enerji sistemlerinin hayati bir bileşeni haline geleceği tahmin edilmektedir. Uluslararası Hidrojen Enerjisi Komisyonu, 2050 yılına kadar hidrojen enerjisinin dünya enerjisinin %18'ini oluşturacağını, 2,5 trilyon ABD doları tutarında bir piyasa değeri oluşturacağını ve CO₂ emisyonlarını 6 milyar ton azaltacağını öngörüyor. Geleneksel petrol yakıtlarının taşıma kolaylığı ve büyük ölçekli depolanmasının aksine, mevcut hidrojen depolama ve taşıma teknolojisi hala enerji verimliliği ve güvenliği konusunda zorluklarla karşı karşıyadır. Düşük hidrojen depolama yoğunluğu ve yüksek sıkıştırma enerji tüketimi, yaygın olarak kullanılan yüksek basınçlı gaz hidrojen taşıma yöntemiyle ilgili sorunlardır. Sıvı hidrojen, katı hal hidrojen depolama, organik sıvı hidrojen depolama ve amonyak/metanol hidrojen depolama, şu anda geliştirilmekte olan hidrojen depolama teknikleri arasındadır.

Yaygın olarak üretilen bir diğer yaygın kimyasal ürün de H₂ taşıyıcısı için iyi bir seçim olan amonyaktır. Amonyak -33 °C'de kolayca sıvılaştırılır, yüksek hacimsel enerji yoğunluğuna sahiptir (sıvı amonyak, sıvı hidrojenin %50 daha fazla hacimsel enerjiye sahiptir), propana benzer şekilde depolanabilir ve taşınabilir, düşük üretim maliyetine sahiptir ve kullanılabilir. Karbon emisyonu olmayan bir yakıt olarak. Amonyak doğrudan büyük gaz türbinlerinde yanabileceği gibi hidrojene dönüştürülebilir. Verimli yanma sırasında karbondioksit üretilmez. Şu anda büyük ölçekli enerji üretimi araştırmalarının merkezlerinden biridir.

2020 yılında dünyada üretilen 183 milyon ton amonyağın yaklaşık %25'i Çin'den, geri kalan %30'u ise Rusya, ABD ve Hindistan'dan geldi. Dünya çapında amonyak üretiminin %72'si doğal gazdan kaynaklanıyor, bunu kömür (%22), petrol (%5) ve yenilenebilir enerji kaynakları (%1'den az) takip ediyor. Gübreler toplam üretim kapasitesinin %80'ini oluşturur; kalan alanı kimyasallar ve patlayıcılar kaplıyor.

Düşük karbonlu amonyak sentezi yolu olarak kabul edilen H-B işlemi, suyun elektrolizi yoluyla yeşil hidrojeni amonyağa dönüştürür. Üretilen amonyak "Yeşil amonyak" olarak anılır çünkü geleneksel amonyak sentezinin hidrojen üretim ünitesi çok fazla fosil enerji tüketir ve büyük miktarda CO₂ üretir. Yeşil hidrojen onun tarafından taşınır. Bununla birlikte hidrojeni amonyağa dönüştürmek için gereken enerji, hidrojenindeki enerjinin %7 ila %18'i arasındadır. Vanş noktasında, amonyağın tekrar hidrojene dönüştürülmesi için sıcaklığı 500 ila 550 °C arasında olan bir ısı kaynağına ihtiyaç vardır, bu da bir miktar enerji kaybına neden olacaktır.

Günümüzde yeşil hidrojen üretiminin birincil yöntemi, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak suyun elektrolize edilmesidir. Elektrolitik hücre, suyu elektrolize etmek için kullanılan birincil ekipman parçasıdır. Alkaline ve PEM elektrolitik hücreler artık en yaygın iki elektrolitik hücre türüdür. Alkali elektrolizörler ucuzdur ancak muazzam hacimleri ve düşük akım yoğunlukları nedeniyle büyük ölçekte hidrojen üretmek için özellikle kullanışlı değildirler. PEM elektrolizörlerinin yüksek akım yoğunlukları, uzun ömürleri ve yüksek verimlilikleri nedeniyle geniş ölçekte hidrojen üretimi için daha uygun olduğu düşünülmektedir. Genel olarak konuşursak, bir elektrolizörün ton amonyak başına minimum 21,18 GJ'ye ihtiyacı vardır. Öte yandan endüstriyel ortamlarda kullanılan elektrolizörler %60 ile %70 arasında verimli çalışır ve 30,3 ile 35,3 GJ/ton arasında amonyağa ihtiyaç duyar.



Görsel Linki: <https://l24.im/DFMkm6>

Ayrıca, hava ayırma ünitesinin mevcut nitrojen üretiminde ton başına yaklaşık 2,7 GJ amonyak kullanılmaktadır. Sonuç olarak, optimal koşullar altında, bu şekilde üretilen amonyağın enerji tüketimi, %55,7 ila %64,3'lük bir PTF verimliliği ile 33,0 ila 38,0 GJ/ton amonyak arasında değişmektedir. Amonyakla karşılaştırıldığında, sıvı hidrojen %49,3-%57,9 gibi daha zayıf bir PTF (Yakıt Hücresine Güç) verimliliğine sahiptir. Bunun nedeni sıkıştırma ve sıvılaştırma işlemlerinin 36,0-48,0 GJ/ton H₂ enerji almasıdır. Ek olarak, buharlaşma kayıpları ve sıkıştırılmış depolama, amonyaktan (%90) daha fazla enerji gerektirdiğinden, sıvı hidrojenin taşıma verimliliği yaklaşık %84 kadar daha düşüktür.

Amonyak yakıt hücrelerine iki farklı yöntemle eklenebilmektedir. Birincisi, amonyağın katalitik parçalanması yoluyla yakıt hücreleri için hidrojen üretimi. Gelecekte, hidrojen yakıt ikmal istasyonları, daha karmaşık yerleşik sistem entegrasyonu ihtiyacı ve artan maliyet nedeniyle pratik olmadığı düşünülen, doğrudan gemi üzerinde kırma yerine bu yöntemi kullanabilir. Bunun yerine, hidrojen yakıt ikmal istasyonları çevrimiçi amonyak parçalama yoluyla hidrojen üretecek. Yüksek saflıkta hidrojen elde etmek için (>%99,97, özellikle otomotiv uygulamaları için), piroliz işlemi 500 °C'nin üzerinde sıcaklıklara ve 4,2 GJ/t amonyak (H₂ kayıpları dahil) enerji girdisine ihtiyaç duyar.

Amonyanın doğrudan kullanılması, amonyağı hidrojene dönüştüren bir orta adıma olan gereksinimi ortadan kaldırır. Gelecekte amonyak, SOFC'nin yüksek sıcaklığı kullanılarak kullanılabilir. Bununla birlikte, SOFC'ler yüksek çalışma sıcaklıkları (550 ~ 900 °C) nedeniyle yalnızca sık sık anahtarlama gerektirmeyen kalıcı olarak sabit uygulamalar için uygun olabilir. Sonuç olarak, SOFC kamyon taşımacılığında, nakliyede, havacılıkta vb. kullanılmaktadır. Aşağıdaki gibi ağır hizmet otomobillerine uygulanabilir. Anot malzemelerinin parçalanması, SOFC'lerin ticarileştirilmesinin önünde hala önemli bir engeldir. Ayrıca amonyağı katalitik olarak hidrojene dönüştüren SOFC anot malzemelerinin sürekli çalışma sırasında stabil, sağlam ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı olması gerekir.

Böyle bir fikri gerçeğe dönüştürmek için SOFC ve amonyak ayırma teknolojilerinde ek ilerlemelere ihtiyaç vardır. Amonyaklı içten yanmalı motorların amonyaktan hidrojen üretmesi gerekmez de, daha sert ateşleme, daha yavaş alev hızı ve artan sıkıştırma gibi diğer sorunların yanı sıra NOx emisyonları üretebilirler.

Amonyak, her ne kadar yukarıdaki açıklama ideal yakıt üretim verimliliğine ve gerçekçi geçiş analizine dayandırsa da, hidrojen enerjisi depolaması için işlenebilir bir malzeme olarak önemli bir potansiyel sunmaktadır.

Ancak hidrojen taşıyıcısı olarak amonyağı kullanan taşıma sistemi, sıvı hidrojenle karşılaştırıldığında toplam elektrik-yakıt-elektrik (PFP) verimliliği açısından gözle görülür bir avantaj sunmuyor (Tablo 2). Ayrıca kırma işleminin yüksek enerji ihtiyacı, gelecekteki potansiyel kullanımlarını kısıtlamaktadır. Ayrıca, yakıt hücreli araçlara sıkıştırılmış ve saflaştırılmış hidrojen sağlamak pahalı ve enerji yoğun bir işlemdir ve elektrik ve ısı girdisinin maliyetini başka faydalarla dengelemek zordur.

Teknik zorluklarının yanı sıra, amonyağın aşındırıcılığı, hidrofilitliği ve toksisitesi (OSHA'ya maruz kalma sınırı 50 x 10⁻⁶'dır), kasıtsız sızıntıları ve ekipman korozyonunu önlemek için önemli bir altyapının inşasını gerektirir. Amonyanın genellikle uzak yerlere güç sağlamak için SOFC'leri kullanan sabit enerji üretimi için bir yakıt olduğu düşünülmektedir. Hidrojen taşıyıcısı olarak hidrojenin indirgenmesi yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir ancak parçalanması ve sıkıştırılması çok fazla enerji gerektirdiğinden uygulanabilirliği sınırlıdır. İklim değişikliğinin etkilerini hafifletme açısından bakıldığında, bir hidrojen taşıyıcısı olarak amonyak, fosil enerjii hammadde olarak kullanan geleneksel amonyak sentez prosesi yerine yeşil hidrojeni hammadde olarak kullanmaktan daha az başarılıdır.

Kaynakça:

1. <https://tr.manly-battery.com/info/advantages-and-disadvantages-of-ammonia-as-a-h-73186892.html>
2. <https://www.isoyesilblog.com/avrupa-birligi-bir-hidrojen-ekonomisi-insa-ede-bilecek-mi/>
3. <https://inovatifkimyadergisi.com/yeni-teknikle-amonyaktan-yesil-hidrojen-uretmek-mumkun>
4. <https://www.solar.ist/karbonsuz-gelecegin-yakiti-ruzgar-ve-gunes-enerjisi-ile-desteklenmis-amonyak/>