

LOTUS ETKİLİ YÜZEYLER

LOTUS EFFECT

Yrd. Doç. Dr. Esen ÖZDOĞAN
Ege Ü. Tekstil Mühendisliği Bölümü

Araş. Gör. Aslı DEMİR
Ege Ü. Tekstil Mühendisliği Bölümü

Prof. Dr. Necdet SEVENTEKİN
Ege Ü. Tekstil Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Lotus yaprakları kendi kendini temizleyebilme özelliğine sahiptir. Araştırmacılar tarafından uygulanan zor lekeler dahi yağmur damlaları ile kolayca temizlenebilmektedir. Yaprığın nano yapısının bilinmesi ile birlikte bina kaplamaları, uçaklar, arabalar ve tekstiller gibi birçok alanda kullanılmaya başlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Lotus, kendi kendine temizleme, tekstil, kaplama

ABSTRACT

Lotus leaves have self-cleaning properties. Persistent stains applied by researchers were easily removed by rain droplets and rolled off the leaf. By the discovery of the hydrophob and nanostructured surface of this leaf, lots of end uses, particularly as coatings for buildings, aircraft, cars and textiles, have began.

Key Words: Lotus, self-cleaning, textile coating

GİRİŞ

Lotus çiçeği (*Nelumbo nucifera*), yaprakların kendi kendisini temizleyebilme özelliği nedeni ile birçok Asya ülkesinde temizlik sembolü olarak bilinmektedir. Çamur ile kirlendiğinde bile üzerinde hiçbir kirlilik kalmamaktadır. Lotus yapraklarının SEM fotoğrafları incelendiğinde nano ve mikro yapıların yüzeye pürüzlülük kazandırdığı gözlemlenmiştir (2,4).

Barthlott, Wilhelm ve Christoph Neinhuis, lotus yaprağı yüzeyinin ve filizlerinin ince bir kütikula ile kaplı olduğunu bulmuşlardır. Kütikula, çözünmeyen bir polimer (kütin) ve mumlardan oluşmaktadır. Birçok bitkide epikütikular mum karakteristik mikro yapıları oluşturmaktadır. Mum tabakası bitki ve çevre arasında multifonksiyonel bir ara yüz oluşturmakta, hava akışı ile ışık yansımalarını etkilemekte ve yüksek bir su iticilik sağlamaktadır. Bu tür yüzeylere su temas ettiğinde, küçük damlacık oluşturmakta ve yaprak üzerinden yuvarlanarak ilerlemektedir. Barthlott, Wilhelm ve Christoph Neinhuis, su itici-

lik ile kendi kendini temizleme arasında bağlantı olduğunu bulmuşlardır.

Lotus-Etkisi, birçok bitkide görülebilmekte ve mikro yapıdaki hidrofob yüzeylere bağlı olmaktadır. Pürüzsüz yüzeylerde temas açısı 110° iken, mikron çapındaki pürüzlülük 170° temas açısı ile süper hidrofobluğa ulaşmaktadır. Bu tür durumlarda suyun adhezyonu için gerekli alan minimize olmakta ve damla ile her bir mum kristali arasında hava hapsolmektedir. Bu durum partiküller için de geçerlidir. Partikül ve pürüzlü yüzey arasındaki temas alanı minimize olmakta ve yaprak yüzeyi üzerinde yuvarlanan su damlasına partiküller tutunabilmektedir. Büyüklük ve kimyasal yapıdan bağımsız olarak partiküller süper hidrofob yüzey üzerinden az miktardaki yağmur ile uzaklaştırılabilmektedir.

Kendi kendisini temizleme etkisi yüzeyin nano yapısı ve hidrofob karakterinden kaynaklanmaktadır Lotus bitkisinin yapraklarını fizikokimyasal özelliklerine bağlı olarak meydana gelen bu etki teknik yüzeylere uygulanabilmekte ve yüzey kaplamalara uygulamalarına

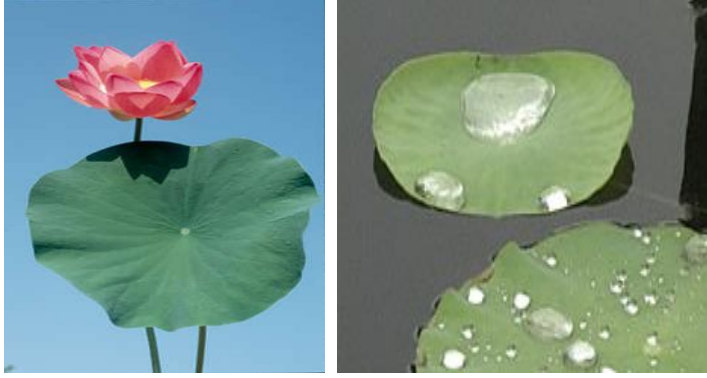
ilişkin çalışmalar halen devam etmektedir.

1. LOTUS EFEKTİ

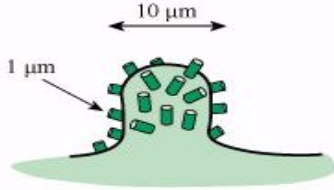
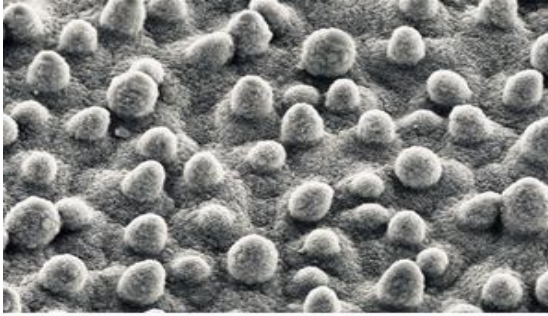
Lotus etkili yüzeyler, suyun hareketiyle temizlenebilen, hidrofob ve nano yapıya sahip yüzeylerdir. Bu tip yüzeyler genellikle "temizlenmesi kolay", "kir itici", "kire dayanıklı", kendi kendini temizleyen" veya "lotus efekti" gibi sözcüklerle ifade edilmektedir. Bu açıklamalardan her biri diğerine benzemekle birlikte aslında farklıdır ve bir yüzeyin davranışını anlatmak için kullanılmaktadır.

Temizlenmesi kolay yüzeyler yıllardan beri çok iyi bilinen hidrofob ve pürüzsüz yüzeylerdir. Bilindiği gibi, bu tip yüzeylerden kiri uzaklaştırmak zor değildir. "Lotus etkisi" ve "kendi kendini temizleme etkisi" benzer şekilde kullanılmaktadır. Kirlenen yüzeyin temizlenmesi için insanlar tarafından yapılacak herhangi bir etkiye gereksinim olmamaktadır.

1982'de Abzamsen bir Lotus yaprağının yüzeyini ve su damlasının 150°



Şekil 1. Lotus çiçeği ve yaprağı



Şekil 2. Lotus yaprağının SEM fotoğrafı

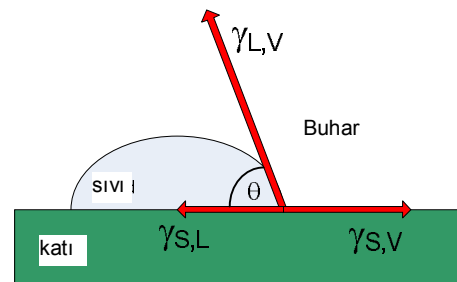
temas açısını birlikte yaratan hidrofobluğu tarif etmiştir. Ancak kendi kendini temizleme davranışının nedenini ortaya koyamamıştır. Bu özellik 1994 yılında bir Japon Sekisui Chemical Co Ltd firması tarafından belgelenen bir patent uygulamasında da gözden kaçmıştır. 1997 yılında, Bonn Üniversitesinden botanikçi Wihhelm Barthlott Lotus yaprağının kendi kendini temizleme davranışını ilk kez tanımlayan kişi olmuştur. Aşağıdaki görüntü bir Lotus yaprağının yüzeyini göstermektedir (Şekil 1) (3).

Lahana, kohrtrabi, nasturtium veya gingko gibi diğer bazı bitkiler de aynı davranışı gösterebilmektedir. Bu bitkiler, suyu damla haline getirmek için zorlamaktadır. Bu bitkilerin herbiri eşsiz yüzey şekillerine sahiptir. Bu bitki yapraklarının ortak yanı hidrofob üst yüzey ve nano-yapılı bir yüzeye sahip olmalarıdır (Şekil 2). Kendi kendini

temizleyen yüzeyler, bir tek yüzey yapısı yerine geniş bir çeşitliğe sahiptir (1).

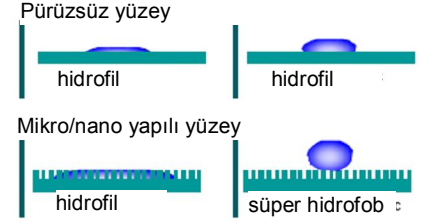
2. FİZİKSEL OLAYLAR

Lotus-Efektinin dayandığı temel prensip, katı bir yüzey üzerindeki sıvıya etki eden kuvvetlerle yakından ilişkilidir. Katı ve sıvı faz arasındaki ($\gamma_{S,L}$), katı ve buhar fazı arasındaki ($\gamma_{S,V}$) ve sıvı ile buhar fazı arasındaki ($\gamma_{L,V}$) kuvvetler tüm yüzey gerilimini tanımlamaktadır



Şekil 3. Hidrofil ve hidrofob yüzeylerde damlanın yerleşimi

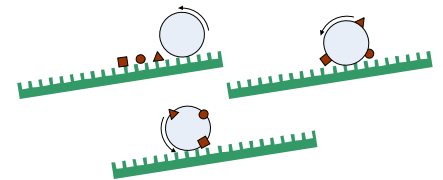
Temas açısı ise bu kuvvetlere bağlı olarak değişmektedir. Yüzey pürüzlülüğü, hidrofil yüzeylerin ıslanabilirliğini geliştirirken $\theta (< 90^\circ)$ hidrofob yüzeylerin ıslanabilirliği ($\theta > 90^\circ$) düşmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Lotus efektinin prensibi

3. KENDİ KENDİNİ TEMİZLEYEBİLME ÖZELLİĞİ

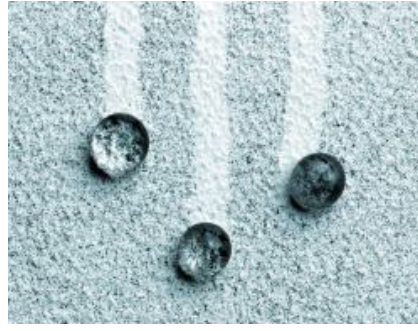
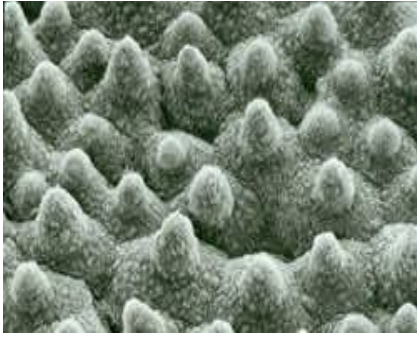
Süper hidrofob yüzey üzerindeki damla kaymamakta, yuvarlanarak ilerlemektedir. Damla, üzerinde kirlilik taşıdığı anda partikül ve yüzey arasındaki absorpsiyon kuvveti statik sürtünme kuvvetinden büyük ise kir yüzeyden uzaklaştırılmaktadır. Genellikle kirlilik uzaklaştırmak için gerekli kuvvet, kir ve yüzey arasındaki temas alanının minimum seviyede olması nedeniyle çok düşüktür. Sonuç olarak damla, kirlilik partikülleri de beraberinde yuvarlayarak götürmekte ve yüzeyi temizlemektedir (Şekil 5).



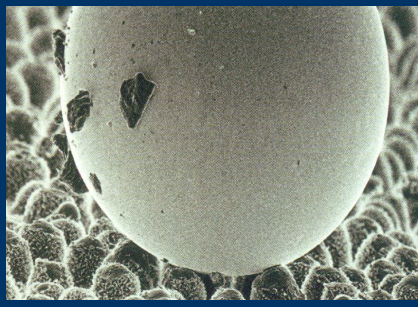
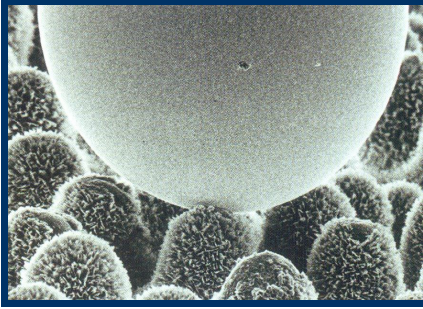
Şekil 5. Süper hidrofob yüzey üzerinden damlanın uzaklaştırılması (2)

Şekil 6'da, Lotus yaprağının yüzey yapısı ve buna bağlı olarak kendi kendini temizleme durumu gösterilmektedir.

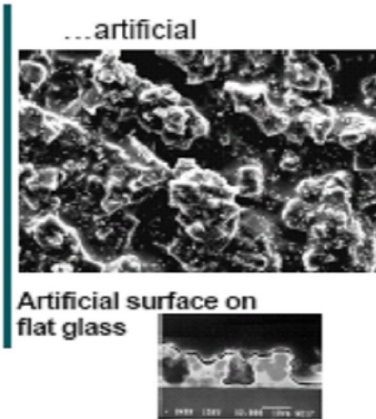
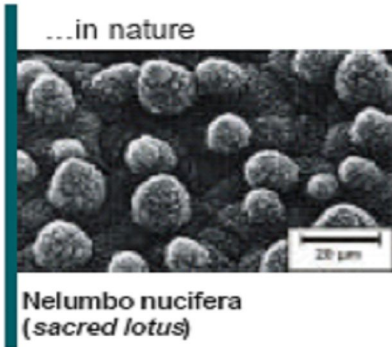
Kendi kendine temizlenen yüzey olanaklarının geniş çeşitliliği, üretimleri için bazı olanaklar sunmaktadır. Bu konudaki ilk yaklaşım Lotus yaprağının yüzeyini kopyalamak şeklinde olmuştur. Ancak kısa bir süre sonra, yalıtık yapısından ötürü mekanik zorlamaya karşı dayanma yetisinin çok düşük olduğu anlaşılmıştır.



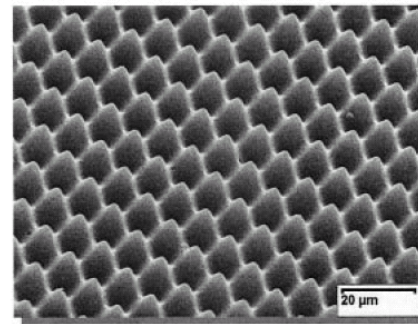
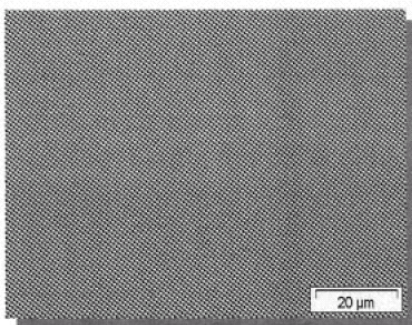
Şekil 6. Lotus yaprağının yüzey yapısı ve kendi kendini temizleyebilmesi



Şekil 7. Lotus yaprağı üzerinde kirin uzaklaşması (SEM görüntüsü)



Şekil 8. Doğal lotus yaprağı ve taklit edilmesi ile elde edilen yüzey görünümü



Şekil 9. Farklı boyuta sahip yapılarda kendi kendini temizleme etkisinin SEM mikroskobu altındaki görünümü

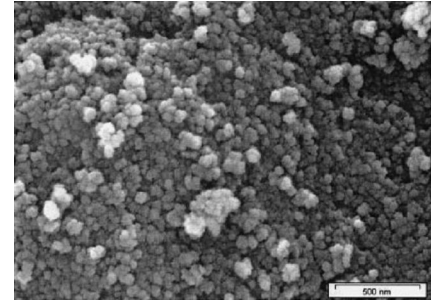
250 nm ve altındaki yapılar, Lotus etkisine sahip yüzeylerin gereksinimlerini tamamen karşılamakla birlikte çalışılan

yapılar hakkında bilinenler, Lotus etkili yüzey yapmak için yeterli değildi. Kalıcı bir hidrofob yüzeyin nasıl yapıla-

cağı, kabartma işlemi ve kabartma ale-tinin nasıl olacağını bilmek de başarılı olmanın bazı anahtarlarıdır.

Diğer yandan, yapının büyüklüğünün etkisi değerlendirilmiş ve kendi kendini temizleme davranışının Lotus bitkisinin yaprağının yapı büyüklüğü ile sınırlı olmadığı bulunmuştur (Şekil 9).

Kendi kendini temizleyen yüzeyler yaratmak için bir diğer yaklaşım da Şekil 10'da da görüldüğü gibi, yüzeylerin üzerini nano-yapılı hidrofob partiküllerle bağlamak şeklindedir.

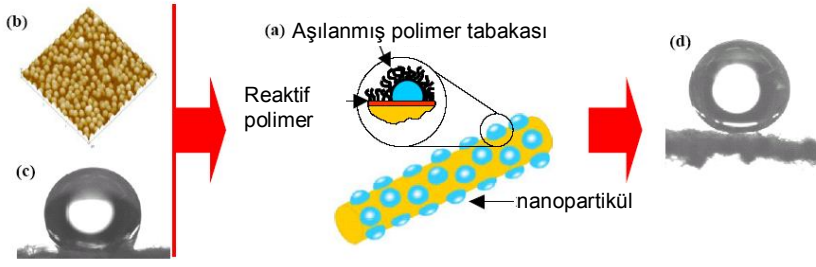


Şekil 10. Nano yapılı hidrofob partiküllerin kendi kendini temizleme etkisi

Nano yapılı hidrofob partiküllerin herhangi bir yüzey üzerine bağlanması zor bir işittir. Bağlanmanın kalıcı olması istenmektedir. Genellikle yüzeyler az veya çok hidrofob yapıdadır. Bu yüzden hidrofob partiküller ve yaygın plastik yüzeyler oldukça uyumsuz yapıda olup ancak bir kaplama sistemi ile uyumlu hale getirilebilmektedir.

Nun E ve arkadaşlarının geliştirdiği kaplama sistemi ile hidrofob nano yapılı partiküllere iyi bir afinite ve yaygın polimer yüzeylerin birçoğuna mükemmel bir yapışma sağlandığı ifade edilmektedir. Plastikler üzerine Lotus etkili yüzey özellikleri 3 boyutlu eşsiz kombinasyonlarla elde edilebilmektedir.

Yukarıdaki şekilde, polimer yüzeylerin hidrofob nano boyuttaki partiküllerle kaplanmasını göstermektedir. Partiküllerin çok sık ve yoğun tabakası bağlama reçinesini tamamen kaplamaktadır. Bu yüzeyin suya karşı temas açısı 150°'nin üstündedir ve yuvarlanma açısı 2°'nin altındadır. Mekanik zorlanmaya karşı gösterdiği dayanım doğal modele göre çok daha yüksektir. Aynı zaman-



Şekil 11. (a) "Lotus" lifinin şematik görünümü (Nanopartüküllerin boyutu çok büyütülmüş ve partiküllerin yüzey konsantrasyonu çok düşük olarak gösterilmiştir). (b) Gümüş nanopartüküllerle kaplı yüzeyin AFM görüntüsü (3-3 nm) (c) Aşılmalı polistiren tabaka ile modifiye edilmiş PET yüzeyi üzerinde damla görüntüsü (d) Nanopartikül/aşılmalı tabaka kombinasyonu ile kaplı Pet kumaş üzerindeki su damlası.

da, kendi kendini temizleme başarımı olumsuz etkilenmeksizin elle işlenebilir ve fırçalanabilir,

Başka bir uygulamada, nano yapıdaki partiküller binnerle karıştırılarak püskürtme ile kendi kendine temizlenebilen yüzeyler oluşturulmuştur. Binner tipine bağlı olarak etki kalıcı veya geçici olmaktadır.

Çeşitli yüzey işlemleri ile polimerik ve inorganik ultrahidrofor yüzeyler başarıyla elde edilebilmektedir. Birçok alanda olduğu gibi ultrahidroforik süper itici ve kendi kendini temizleyebilen "lotus" lifleri tekstil endüstrisine birçok yarar getirmektedir. Su itici özellik sağlayan florokimyasal esaslı terbiye maddelerinin yerini alması bunlardan birisidir. Süper itici tekstil materyalleri kimyasal ve biyolojik silahlara karşı koruyucu giysi tasarımında son derece önem taşımaktadır. Ayrıca, bu tür lif yüzeyleri sıvı iletiminde süper iletken olarak da rol oynamaktadır. Bu durum, materyaller, membranlar, ve kapılardan su/sıvı hareketinde enerji kullanımının azaltılması bakımından oldukça avantaj sağlamaktadır. Böyle bir yüzey üzerinden su geçtiğinde, kendi kendini temizleyebilmesi rahatlıkla gözlenebilmektedir. Lotus lifleri ve lotus benzeri materyaller birçok tekstil uygulamalarında devrim yaratırken pazarı da genişleteceği tahmin edilmektedir. Örneğin lotus lifleri ile hidrofob liflerin kombinasyonu sonucu vücuttaki ter hızla atılabilecek ve böylece cilt hemen kuruyacaktır.

Kendi kendini temizleme performansına ilişkin herhangi bir ASTM, DIN veya ISO standardı bulunmamaktadır. Diğer yandan, kendi kendini temizleme davranışının etkisi kir testi ile ölçülebilmektedir. Test edilecek yüzey, standart koşullar altında Printex 60 (karbon siyahı) ile kirletilmektedir. 45° lik yüzey üzerine su buharı püskürtülmekte ve yüzeyde yoğunlaşan su damlaları, karbon siyahını da üzerine alarak uzaklaşmaktadır. Bu test yaklaşık 60 kez tekrarlanmaktadır. Ardından ΔL (CIE Lab) değeri ölçülmektedir. ΔL değerinin 10'u aşmaması gerekmektedir. Başka bir ölçüt ise suya karşı temas açısıdır. Suya karşı temas açısı için Young eşitliği yüzeyin hidrofobluğu ile ilişkilidir. Çok hidrofob pürüzsüz bir yüzey bile sadece 120°'ye kadar temas açısına sahiptir. Ancak hidrofob yüzeyler üzerindeki nano yapılar temas açısı artmaktadır. Kendi kendini temizlemesi için gerekli temas açısı 140°nin üzerinde olmalıdır.

Lotus-Efekt, birçok alanda olduğu gibi tekstil endüstrisinde de ticari marka

KAYNAKLAR

- 1) Nun E, Markus O. and Schleich B. Lotus Effect-Surfaces, Macromol. Symp. 187, 677-682, 2002.
- 2) http://lotus-shower.isunet.edu/the_lotus_effect.htm
- 3) <http://nanotechweb.org/articles>
- 4) RTD Info, Magazine on European Research, May 2005, 13.
- 5) Dr. Th. Stegmaier, Dr. V. von Arnim, Lotus-Effect on textiles May 2002, Seite 2 von 2
- 6) Lei Jiang, Yong Zhao, and Jin Zhai, Angew. Chem. Int. Ed. 2004, 43, 4338-4341
- 7) Y-T Cheng and D Rodak 2005 Appl. Phys. Lett. 86 144101).
- 8) http://www.innovations-report.com/html/reports/life_sciences/report-14317.html
- 9) <http://nanotechweb.org/articles/news/3/8/3/1>

olarak koruma altına alınmıştır. ITV Denkendorf Enstitüsü ile Botanic Institute of Bonn University ile sanayiden ortakları "lotus efektinin tekstil uygulamaları" üzerindeki çalışmalarını devam ettirmektedir (Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)). ITV Denkendorf Enstitüsü, membranlar, spor giysiler, koruyucu giysiler tıbbi tekstiller ve hijyenik ürünler gibi tekstil uygulamalarında biyolojik prensiplerin transferini uygulamış ve kendi kendisini temizleyen kumaş üretmişlerdir (4,5,6).

SONUÇ

Lotus yapraklarının eşsiz yüzey özellikleri keşfedildikten sonra birçok alanda hızla uygulanmaya başlamıştır. Bunlar arasında laminantlar, koruyucu filmler, trafik işaretleri (sisli havada bile bozulmamakta), pencere çerçeveleri, çadırlar ve muşamba üretimi vb. sayılabilmektedir. Lotus efektinin tekstil sektöründe uygulanmasına ilişkin çalışmalar halen devam etmektedir. Lotus-efektinin tekstiller üzerine uygulanması temizleme ve bakım kolaylığı, çevreye olumsuz bir etkisinin olmaması, zaman, materyal, enerji tasarrufu, kullanılan mamullerin daha uzun ömürlü olması, bazı kimyasal maddelerin yerine ikame edebildiği için sağlık ve çevre açısından daha güvenilir olması, daha düşük maliyetlerle çalışılması gibi avantajları sağlamaktadır. Tüm bu avantajları nedeniyle birçok alanda uygulamasının yaygınlaşacağı tahmin edilmektedir.