

## MADENCİLİKTE BİTKİLERİN GÜCÜ

Abdulkerim AYDINDAĞ\*, Dilek BABACAN\*,  
Ebru ALBAYRAK\*, Ebru BEYRİBEY\* ve  
Özden İLERİ\*

### GİRİŞ

Madencilik, tarih boyunca medeniyetleri şekillendiren ve ülkelerin jeopolitik konumlarını etkileyen en temel sektörlerden biri olmuştur. Günümüzde madencilik faaliyetleri önemini giderek arttırmakta ve devletlerin sahip oldukları maden potansiyeli, politikalarının şekillenmesinde rol oynamaktadır. Madencilik günümüzdeki stratejik öneminin yanı sıra yaşanabilir ve sürdürülebilir bir dünya için çevre etkisi de göz ardı edilmemelidir. Madencilik sektöründe, arama faaliyetlerinden maden sahasının ıslahına kadar olan tüm süreçte, çevre dostu teknoloji ve yeni yöntemlerin kullanılması aynı zamanda madencilik için çevre üzerinde yol açtığı sorunları da ortadan kaldıracaktır. Bu anlamda ilk defa Rus jeokimyacı Vemadsky tarafından yeni bir tanım olarak ortaya çıkartılan (Schiesinger, 1992) "biyojeokimyasal yöntemler", maden sahalarından kaynaklanan çevresel etkilerin azaltılması için kullanılmaya başlanmış, ilerleyen süreç içerisinde bu yöntemler geliştirilerek madencilik sektörü için çevre dostu yeni bir seçenek olarak ortaya çıkmıştır.

Günümüze kadar yapılan araştırmalara bakıldığında madencilik sektöründe biyojeokimyasal yöntem dendiğinde en geniş kullanım alanının "bitkiler" ile yapılan arama ve ıslah faaliyetleri olduğu görülmektedir. Bitkilerle yapılan maden aramacılığında; henüz tespit edilememiş maden yatakları keşfedilip, kıymetli elementlerin belirtgen bitkilerde toplanarak, madenin bulunması sağlanır. Diğer taraftan terk edilmiş maden sahalarında bitkilerle çevre kirliliği tespit edilip, kirliliğin olduğu bölgelerde bitki ekilerek ortamın temizlenmesi de sağlanabilmektedir.

### FİTOREMEDİASYON

Bazı bitki türleri, metalce zengin topraklarda büyüyebilmekte ve diğer bitkilere göre çok

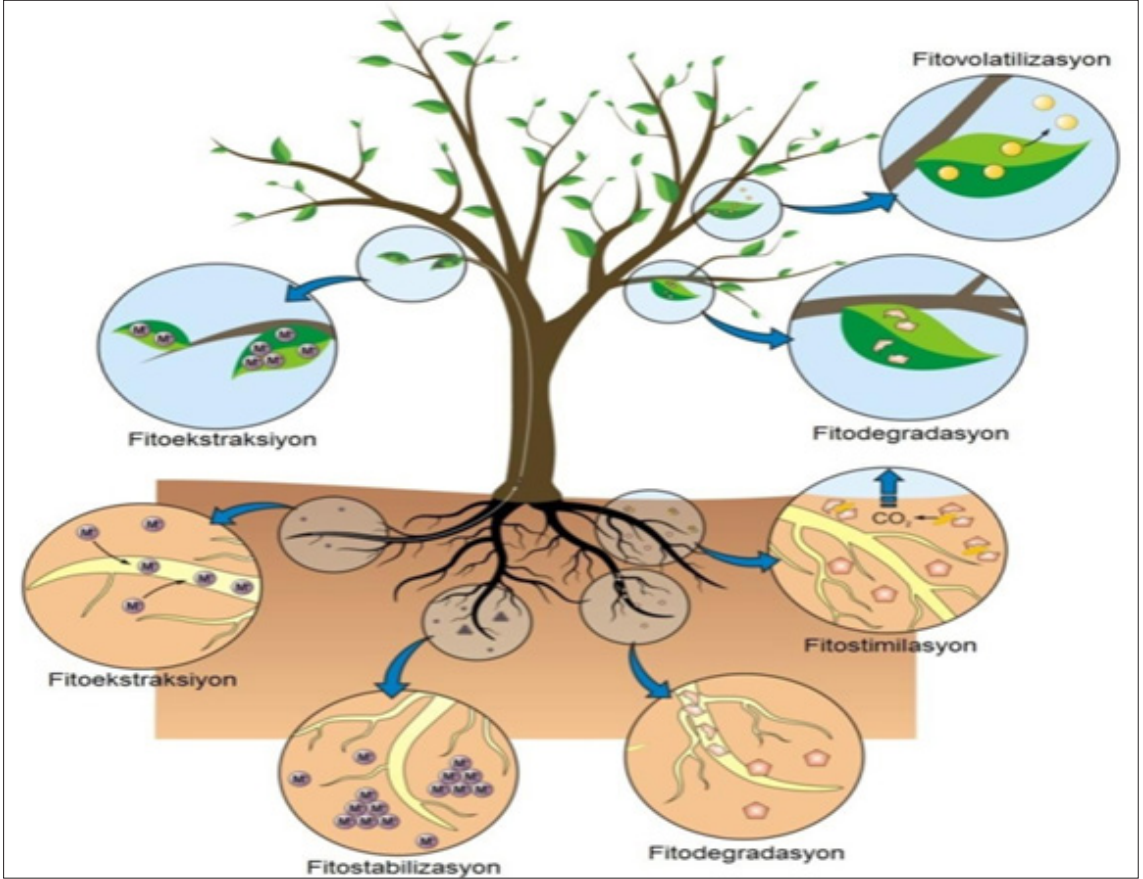
daha fazla metali soğurarak topraktaki element miktarını bünyesinde birkaç kat (ya da daha fazla) biriktirebilmektedir. Bu bitkiler akümülatör bitkiler olarak adlandırılmaktadır (Özdemir, 2009). Bu tür bitkiler kökleri vasıtasıyla yetiştikleri ortamdaki antimon, arsenik, kadmiyum, bakır, nikel, selenyum, talyum, manganez ve çinko gibi metalleri alıp yapraklarında ve filizlerinde biriktirme yeteneğine sahiptir (Ayhan vd., 2007).

Fitoremediasyon, bir takım özel bitkilerin yetiştirilerek kirlenmiş alanların kirleticilerden temizlenmesi işlemi olarak tanımlanmaktadır (Hooda, 2007; Lamb vd., 2001). Bitkiler organik ve inorganik kirleticileri kökleri vasıtasıyla sünger gibi bünyelerine alarak, biriktirerek veya parçalayarak kirlenmiş alanların temizlenmesini sağlarlar (Şekil1). Bu sayede kirlenmiş arazilerin düzenlenmesi veya stabilize edilmesi amaçlanmaktadır. Fitoremediasyon, diğer ıslah yöntemlerine göre sürdürülebilir, uygun maliyetli ve çevre dostu bir teknik olması nedeniyle önem taşımaktadır. Bitki kullanılarak topraklardan alınan ağır metal işleminde amaç, toprak tarafından tutulmuş halde bulunan ağır metallerin daha kontrol edilebilir ve taşınabilir forma dönüştürülmesidir (Hamutoğlu vd., 2012). Maden sahalarındaki atıkların nihai olarak giderimi, fitoremediasyon sonucunda ortaya çıkan bitkilerin yakılarak veya uygun bir alanda usulüne göre depolanmasıyla gerçekleştirilebilir. Fitoremediasyon yöntemi biyolojik alt yapı ve düşük maliyetli olması nedeniyle kullanılır ve oldukça yeni bir yöntemdir. Toprak temizlenmesinde kullanılan diğer yöntemler binlerce yılda gelişen topraktaki biyolojik aktiviteye zarar vermekte ve bitkinin büyüme ortamını da olumsuz etkilemektedir. Oysa fitoremediasyon toprağın biyolojik özelliklerini ve fiziksel yapısını koruyan bir yöntemdir. Bu işlem bir nevi doğanın yine kendi eliyle yani doğayla temizlenmesidir.

### FİTOMADENCİLİK

Geleneksel madencilik yöntemleriyle üretimi ekonomik olmayan metallerin, toprak ortamında yetişen yüksek biyokütleyle sahip ekinlerden biyolojik olarak hasat edilerek elde edilmesine fitomadencilik denmektedir (Sheoran vd., 2009). Biyokütle biyolojik kökenli, fosil olmayan

\* Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Çevre Araştırmaları Daire Başkanlığı, Ankara.



Şekil 1- Fitoremediasyon tiplerinin şematik gösterimi (Favas vd., 2014).

organik madde kitlesi (Kapluhan, 2014) olup fitomadencilikteki biyokütle kaynakları bitkilerdir. Fitomadencilik, düşük tenörlü cevherler, atık, örtü tabakası ya da mineralize topraklardan metalleri elde etme imkanı sunar.

Fitomadencilik süreçlerinin hem teknik hem de ekonomisi üzerine çok sayıda araştırma raporu olmasına rağmen, laboratuvar ortamında elde edilen sonuçların ticari uygulamaları henüz yoktur. Bununla birlikte, fitomadencilik, metal fiyatlarının artmaya devam etmesi durumunda kazanımı problemlili olan metallerde ekonomik açıdan uygulanabilir hale gelebilir. Geleneksel madencilik için çok düşük metal konsantrasyonu içeren maden çukurları ya da atıklarının bulunduğu sahalarda her iki yöntem kombine olarak kullanılabilir. Fitomadencilik, metal fiyatlarının artmaya devam etmesi durumunda kazanımı problemlili olan metallerde ekonomik açıdan uygulanabilir hale gelebilir. Geleneksel madencilik için çok düşük metal konsantrasyonu içeren maden çukurları ya da atıklarının bulunduğu sahalarda her iki yöntem kombine olarak kullanılabilir. Fitomadencilik, metal fiyatlarının artmaya devam etmesi durumunda kazanımı problemlili olan metallerde ekonomik açıdan uygulanabilir hale gelebilir. Geleneksel madencilik için çok düşük metal konsantrasyonu içeren maden çukurları ya da atıklarının bulunduğu sahalarda her iki yöntem kombine olarak kullanılabilir.

olabilecek yüksek metal konsantrasyonu nedeniyle altın, talyum, kobalt ve nikel dir. Uranyumun metal fiyatı yüksek olmasına rağmen biyokütledeki metal konsantrasyonu düşüktür, bu nedenle de fitomadencilik için ekonomik değildir. Manganezin metal fiyatı düşük, ancak akümülatör bitkideki metal konsantrasyonu yüksektir. Bu durum da manganezin fitomadencilikte uygulanabilir olduğunu gösterir (Sheoran vd., 2009). Bu ve benzeri örnekler pek çok bitki ve mineral/maden türleri arasında kombine edilebilir. Gelecekte her bir maden için bir veya birkaç bitkinin referans olarak tespit edilmesi gündemdedir.

Geleneksel madencilik ile karşılaştırıldığında fitomadencilik önemli avantajları bulunmaktadır;

- Fitomadencilik işlemleri, geleneksel madencilik işlemlerinden daha çevre dostudur.
- Fitomadencilik ile bitkilerin yakılması sırasında ısı ve elektrik enerjisi elde edilir. Elde edilen bu enerji türü maliyetin aşağı çekilmesinde önemli rol oynamaktadır.

- Geleneksel madencilik yöntemleriyle üretimi ekonomik olmayan cevher veya mineralize toprakların kullanım imkânını sunar.
- Bitkilerden elde edilen biyo-cevherler neredeyse hiç kükürt içermez ve bunların eritilmesi sülfidik cevherlerden daha az enerji gerektirir.
- Asit maden drenajı gelişimini engelleyici rol üstlenirler.

Fitomadenciliğin başarılı bir süreç olmasını etkileyen bazı faktörler vardır. Öncelikle, fitomadencilik, biyojeokimyasal faktörler olan bitkinin kök salgıları, sıcaklık, nem, pH, topraktaki metallerin çözünürlüğünün yanısıra iklim ve mevsim şartlarına da bağlıdır. Bir diğer önemli nokta da yoğun metal içeren bitkilerin büyük ölçekli hasatlarının, cevherden metalleri ayırtmaktan daha pahalı olmasıdır. Bu nedenle fitomadencilik çalışmaları için maliyet hesaplarının iyi yapılması önem arz etmektedir.

Bitkilerin metalleri yüksek konsantrasyonlarda depolama yeteneğine dayanan fitomadencilik teknolojisi, değerli metalleri elde etme açısından çok önemlidir. Bugüne kadar yapılmış olan çalışmaların neredeyse tamamı laboratuvarlarda kısa sürelerde kontrollü koşullarda gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle potansiyeli henüz tam olarak ortaya konulamamıştır. Arazi koşullarında ticari ölçekli daha geniş ve uzun süreli çalışmaların, bitki biyolojisi, genetik mühendisliği, toprak kimyası, toprak mikrobiyolojisi, ziraat ve çevre mühendisliği gibi farklı disiplinlerin bir araya gelmesi ile yapılması gerekmektedir. Bu çalışmalar sonucunda fitomadenciliğin, toplum ve ekonomiye faydalı, kullanılabilir bir yöntem olarak ortaya çıkacağı düşünülmektedir.

## ÖRNEKLERLE FİTOMADENCİLİK

Fitomadenciliğin pilot ölçekli olarak uygulandığı mineral/maden grupları ile bitki türleri arasındaki ilişkiyi inceleyen bilimsel çalışmalar bulunmaktadır. Özellikle nadir toprak element grubu (ör: germanyum) ve nikel, altın gibi minerallerin bazı bitki türlerine duyarlı olduğu bilinmektedir. Buna yönelik örnekler aşağıda verilmiştir.

## Nikel

Ultramafik ya da serpantin türü kayalardan oluşan topraklar dünya üzerinde çok geniş alanlarda bulunmakta ve nikel içermektedir. Bu topraklarda bulunan nikel miktarı genellikle (1000-7000 mg/kg) geleneksel madencilik için gereken miktardan (<30.000 mg/kg) oldukça azdır. Ancak nikel akümülatörleri tarafından alınacak kadar yeterlidir. Ayrıca nikel depolamak için kullanılacak çok sayıda uygun akümülatör bitki türleri bulunmaktadır (Sheoran vd., 2009).

İtalya'da *Alyssum bertolonii* ve Güney Afrika'daki *Berkheya coddii*, türü bitkiler yüksek biyo kütle ve yüksek nikel içeriğinden dolayı, nikeli ayırma potansiyeline sahiptir (Anderson vd., 1999; Brooks vd., 2001; Kiwi Science, 2017). Toprak özellikleri, özellikle azot (N) ve fosfor (P) miktarındaki değişiklikler, nikel fitomadenciliğini büyük ölçüde artırır. Bu bitkiler, nikeli çok iyi bir şekilde soğurur ve bünyesinde tutar, bu nedenle nikel yüklü topraklarda geniş alanlarda yetişebilir ve daha sonra metali elde etmek için hasat edilebilir. Bitkilerin yapraklarından metali elde etmenin, direk topraktan ayırmaktan daha kolay olduğu düşünülmektedir.

*Alyssum* cinsine ait otsu bitkiler kullanılarak yapılan denemelerde hektar başına yıllık 100 kg'dan fazla nikel metali elde edilmiştir (Van der Ent vd., 2015). Malezya'da çoğunluğu ağaç olan bitkiler üzerine yapılan çalışmalarda belli bir türün, *Rinorea bengalensis*, 5 kg'a kadar nikel içerdiği görülmüştür (Van der Ent vd., 2015).

Arnavutluk'ta yetişen akümülatör bitkilerden nikel elde edebilmek için Lorraine'de (Fransa) pilot bir tesis kurulmuş ve burada uygulanan işlemler uluslararası patent almıştır. Bu çalışma için, genellikle Arnavutluk'taki ultramafik kayalardan türeyen topraklarda yetişen *Alyssum murale* bitkisi seçilmiştir. Bu bitki yerel uygulamalarla uyumlu olarak uygun gübreleme miktarlarını kullanarak normal tarım teknikleri ile hektar başına 100 kg nikel biriktirebilmektedir (INRA, 2013).

## Altın

Fitomadencilikte kullanılabilir metalardan biri de altındır. Yalnız bu konudaki zorluk, altının kolaylıkla soğurumunun yapılamamasıdır. Toprağın içerisindeki altının bitkiler tarafından alınabilmesi için daha çözünür forma dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun için de bitki yetiştirme ortamının hazırlık aşamasında bir takım kimyasalların eklenmesi gereklidir. Altının ekonomik değeri nedeniyle bu konu büyük potansiyele sahiptir. Şu an için altın akümülatör bitkisi bilinmemektedir. Çünkü altın suda kolaylıkla çözünemediği için bitkiler doğal yollarla, kökleri ile altın partiküllerini bünyelerine alamaz (Lamb vd., 2001).

Bazı özel kimyasal koşullarda altının çözünürlüğünün artırılabilirliğini öne sürmüştür ve 15 yıl önce, kimyasal olarak işlem görmüş altın içeren topraktan hardal bitkisinin altını emebildiği tespit edilmiştir (Live Science, 2013).

Altın üzerine yapılan bir başka çalışmada, okaliptüs ağaçlarının köklerinin metrelerce aşağı inerek altın içeren suyu yüzeye çıkarması açıklanmıştır. Gelişmiş X-ray görüntüleme sayesinde altın ve diğer metallerin görüntüleri alınabilmektedir. Araştırmacılar bu çalışma sayesinde ülkedeki diğer altın maden yataklarının da tespit edilebileceğini düşünmektedirler (Lintern vd., 2013).

Yapılan çalışmalar göz önüne alındığında altın fitomadenciligi çok ekonomik olmadığı için geleneksel altın madenciliklerinin yerini alabileceği henüz düşünülmemektedir. Ancak yapılan bilimsel araştırmalar bu çalışmaların gelecek için ümit vadeden bir yolda ilerlediğini göstermektedir.

## Germanyum

Freiburg Üniversitesi, bazı bitkilerden germanyum elde edilebilmiştir. Bu çalışmada germanyumun fitomadencilikle eldesi için çimen türü bazı bitkilerle ot türü bazı bitkilerin verimi karşılaştırılarak, ot grubundaki bitkilerin germanyum fitomadenciligi için daha uygun olduğu görülmüştür (Wiche ve Heilmeier, 2016). Germanyum, diğer nadir toprak elementleri gibi toprakta doğal olarak

bulunan ancak topraktan alınması oldukça güç olan bir elementtir. Yapılan bu çalışmayla germanyumun bitkilerden düşük verimle alınabildiği görülmüştür. Ancak verimlilik artırma çalışmaları halen sürmektedir.

## BİYOJEOKİMYASAL PROSPEKSİYON

Biyojeokimyasal prospeksiyon, bitki analizi ile maden arama esasına dayanan ve 1965 yılından bu yana gelişmekte olan jeokimyasal arama yöntemlerinden biridir (Köksoy, 1991; Erdman ve Kokkola, 1984). Bu yöntem, bitkilerin kimyasal içeriklerindeki farklılığın tespiti (biyojeokimya) ve cevher yatakları üzerinde yetişen bitkilerin morfolojik ve fizyolojik değişimlerinin gözlemlenmesi (jeobotanik) gibi alt dalları içermektedir. Maden yataklarının bulunduğu alanlarda yetişen bitki türleri yetiştiği toprağın kimyasal özelliklerini yüksek oranda yansıttığı için biyojeokimyasal prospeksiyonda kullanılmaktadır. Bu tür bitkiler belirleyici indikatör bitki olarak adlandırılmaktadır (Brooks vd., 1995).

## ÜLKEMİZDE FİTOREMEDİASYON/ FİTOMADENCİLİK/BİYOJEOKİMYASAL PROSPEKSİYON

Bitkilerin madencilik sektöründe kullanımı ile ilgili araştırmalar, dünyada 1965'ten bu yana hız kazanarak artmaktadır. Ancak, ülkemizde bu konuya yönelik çalışmalar kısıtlıdır. Fitoremediasyon alanında yapılan araştırma ve uygulamalara daha sık rastlanırken, fitomadencilik alanında yapılan çalışmalar daha çok üniversitelerin bünyesinde yürütülen kısa süreli ve kontrollü çalışmalar olduğu için fitomadencilik uygulamadaki potansiyeli henüz tam olarak ortaya konulamamıştır.

Terk edilmiş maden sahalarının rehabilitasyonuna yönelik Orman Genel Müdürlüğü'nün farklı bölgelerde planlayarak uygulamaya geçirdiği birçok proje bulunmaktadır. Aynı şekilde Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu da benzer çalışmaları yürütmektedir.

Ülkemizde madencilik sektörünün en önemli kurumlarından olan MTA Genel Müdürlüğü de terk edilmiş maden sahalarının rehabilitasyonu ve aynı zamanda bitkilerle maden aramacılığı konularında da çalışmalar başlatmıştır.

MTA Genel Müdürlüğü, sektördeki özel kuruluşlardan farklı olarak, aramacılık faaliyetlerinde bilimsel temele dayalı Fitomadencilik ve Fitoremediasyon gibi konularda yeniyöntemler geliştirerek, madencilik alanında çevreyle uyumlu, sürdürülebilir yeni uygulamalara da yön vermektedir. Bu nedenle Ülkemizin öz kaynaklarını ortaya çıkarmayı ve bu kaynakların etkin/verimli kullanılmasını kendisine ana hedef olarak seçen MTA Genel Müdürlüğü, madenin aranmasından, o sahanın rehabilitasyonuna kadar olan süreçte bitkilerin gücünü kullanarak yeni projeler üretecek, böylece madencilğin doğa ile çok daha barışık olarak da yapılabileceğini göstermiş olacaktır.

## DEĞİNİLEN BELGELER

- Anderson, C.W.N., Brooks, R.R., Chiarucci, A., LaCoste, C.J., Leblanc, M., Robinson, B.H., Simcock, R. 1999. Phytomining for nickel, thallium and gold. *Journal of Geochemical Exploration*, 67, 407-415.
- Ayhan, B., Ekmekçi, Y., Tanyolaç, D. 2007. Bitkilerde Ağır Metal Zararları ve Korunma Mekanizmaları. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7,1, 1-16.
- Brooks, R. R., Dunn, C.E., Hall, G. E. M. 1995. *Biological System in Mineral Exploration and Processing*. Elles Horwood Limited, 538 s.
- Brooks, R.R., Robinson, B.H., Howes, A.W., Chiarucci, A. 2001. An evaluation of *Berkheya coddii* Roessler and *Alyssum bertolonii* Desv. for phytoremediation and phytomining of nickel. *South African Journal of Science*, 97, 558-560.
- Erdman, J.A., Kokkola, M. 1984. Workshop 2: Biochemistry in mineral exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 21: 123-128.
- Favas, P. J.C., Pratas, J., Varun, M., D'Souza, R., Paul, M. S. 2014. Phytoremediation of Soils Contaminated with Metals and Metalloids at Mining Areas: Potential of Native Flora. *Environmental Risk Assessment of Soil Contamination*, Dr. Maria C. Hernandez Soriano (Ed.), 485-517.
- Hamutoğlu, R., Dinçsoy, A., Duman, D., Aras, S. 2012. Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları.

*Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, Cilt 69, Sayı 2, 235-253

- Hooda, V. 2007. Phytoremediation of toxic metals from soil and waste water, *Journal of Environmental Biology*, 28 (2), 367-376.
- INRA, 2013. Using plants to "micro-mine" metals. <http://www.nancy.inra.fr/en/All-the-news/Using-plants-to-micro-mine-metals>
- Kapluhan, E. 2014. Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye'deki Kullanım Durumu. *Marmara Coğrafya Dergisi*, Sayı 30, 97-125
- Kiwi Science, 2017. Phytomining. <http://www.kiwiscience.com/phytomining.html>
- Köksoy, M. 1991. *Uygulamalı Jeokimya*. Hacettepe Yayınları, 368
- Lamb, A.E., Anderson, C.W.N., Haverkamp, R.G. 2001. The extraction of gold from plants and its applications to phytomining. *Chemistry in New Zealand*, September, 31-33.
- Lintern, M., Anand, R., Ryan, C, Paterson, D. 2013. Natural gold particles in Eucalyptus leaves and their relevance to exploraiton for buried gold deposits. *Nature Communications*, 4: 2614, 1-8.
- Live Science, 2013. There's Gold in Them Thar Plants. <https://www.livescience.com/28676-plants-grow-gold.html>
- Özdemir, Z. 2009. Bitkilerle Madenler Bulunabilir mi?. *Madencilik Türkiye Dergisi*, Sayı 3, 14-19
- Schiesinger, V.Ji. 1992. *Biogeochemistry*, *Geotimes* 37, no 2, s 2
- Sheoran, V., Sheoran, A.S., Poonia, P. 2009. Phytomining: A Review. *Minerals Engineering*, 22, 1007-1019.
- Van der Ent, A., Echevarria, G., Morel, J.L., Simonnot, M.O., Benizri, E., Baker, A.J.M., Erskine, P. 2015. Current developments in agromining and phytomining. 13th SGA biennial meeting, Nancy (France), 24 – 27
- Wiche, O., Heilmeier, H. 2016. Germanium (Ge) and rare earth element (REE) accumulation in selected energy crops cultivated on two different soils. *Minerals Engineering*, Volume 92, 208-215.

