

# **BİTKİLERDE AĞIR METAL STRESİ**

Günümüzde, ekosistemlerin toprak, su ve hava gibi ortamlarında yaygın bir şekilde birikmeye başlayan ağır metaller, dünya yüzeyindeki tüm organizmaların yaşamını tehdit eden önemli bir çevre sorunu haline almıştır.

Ağır metaller, yoğunluğu 5 g/cm<sup>3</sup>'den fazla olan, atom numarası 20'den büyük olan, toksisite ve kirlilik yaratan metaller olarak tanımlanabilir. Bu gruba kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), krom (Cr), demir (Fe), kobalt (Co), bakır (Cu), nikel (Ni), civa (Hg) ve çinko (Zn) gibi metaller dahildir.



Ağır metaller, insanlar tarafından oluşturulabilir ya da yok edilebilir olmamaları özellikleri ile diğer toksik elementlerden ayrılırlar. Bu yüzden toprakta, sedimentte, temiz kaynaklarında ve deniz suyunda birikmeye eğilimlidirler.



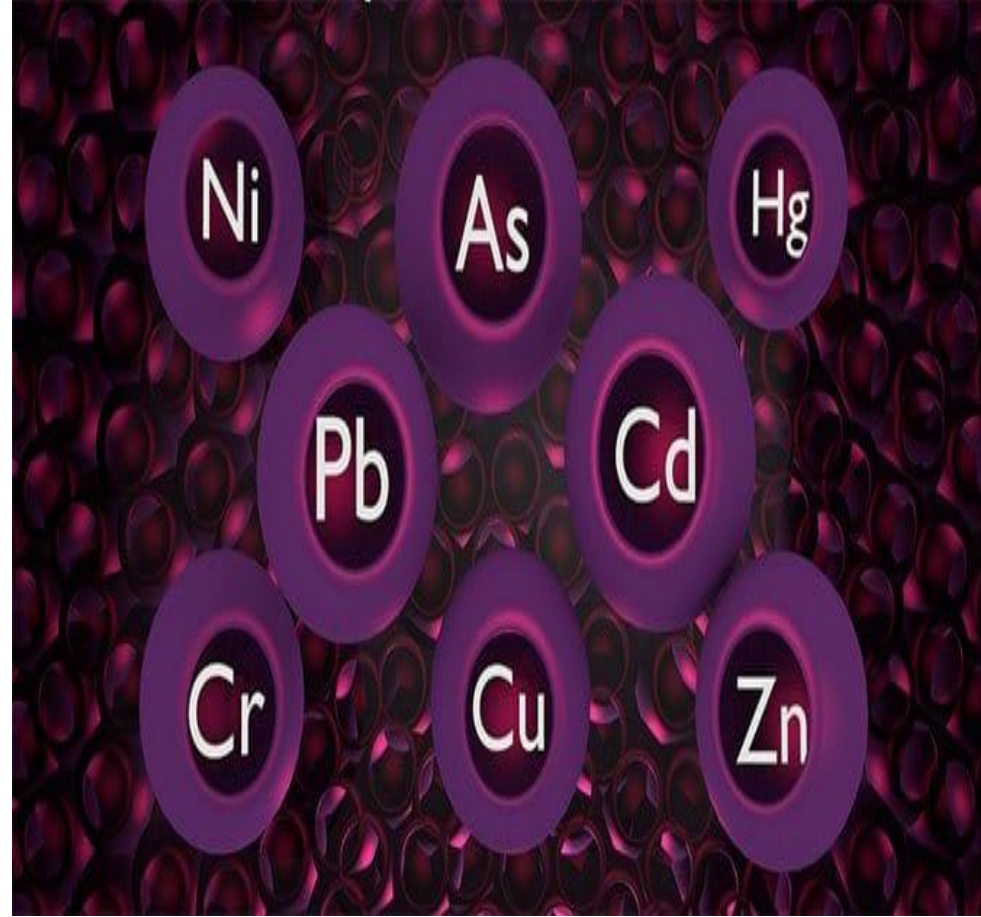
Ağır metaller evre kirliliğinde büyük öneme sahiptir .  
Atmosfere farklı kaynaklardan bırakılan ağır metaller, kuru ve yağ  
okelme ile toprağa, yüzeysel sulara yer altı sularına karışarak  
ekolojik dengeye zarar verebilmektedir.



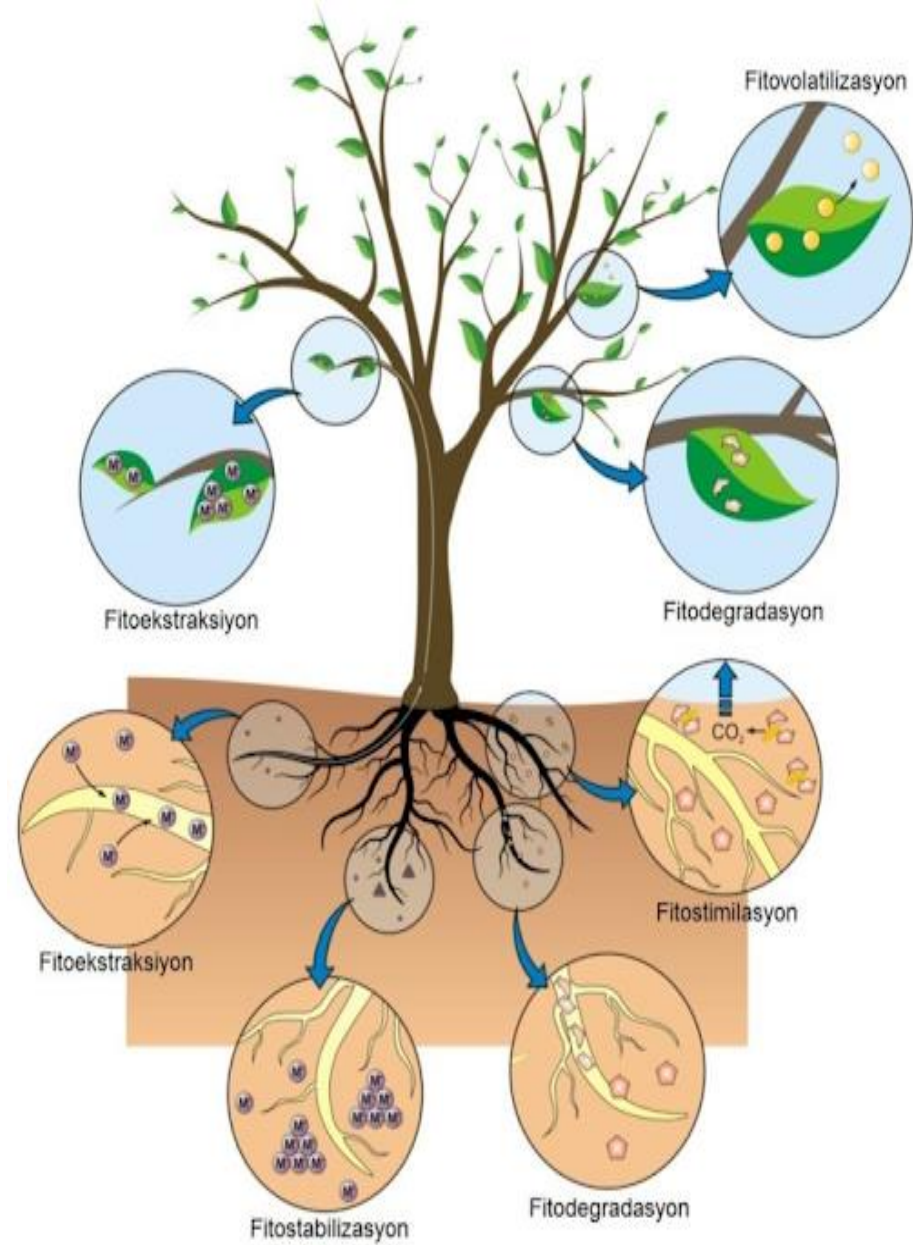
Ağır metallerin çevreye yayılmasına neden olan etmenlerin başında endüstriyel faaliyetler, motorlu taşıtların egzozları, maden yatakları ve işletmeleri, volkanik faaliyetler, tarımda kullanılan gübre ve ilaçlar ile kentsel atıklar gelmektedir.



Ekosfere ulaşan ağır metallardan çinko, mangan, kobalt, bakır, nikel ve molibden bitki gelişimi için mutlak gerekli iken; alüminyum, vanadyum, arsenik, civa, kurşun, kadmiyum ve selenyum toksik etkilidir.



Bitki gelişimi için mutlak gerekli element olsun veya olmasın, ağır metallerin doku ve organlardaki aşırı birikimi bitkilerin vejetatif ve generatif organlarının gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir.





Ağır metaller bu toksik etkileri nedeniyle bitkilerde transpirasyon, stoma hareketleri, su alımı, fotosentez, enzim aktivitesi, çimlenme, protein sentezi, membran stabilitesi, hormonal denge gibi birçok fizyolojik olayın bozulmasına neden olmaktadır.

Toksisite, metalden metale değişebildiği gibi, organizmadan organizmaya da değişebilmektedir. Olumlu veya olumsuz (toksik) etkiler, yalnızca elementin tipi ve konsantrasyonuna bağlı olmayıp değişik türlerin genetik esaslı fizyolojik davranışları ile de ilgilidir.

Bitkilerin çevresel stres faktörlerine karşı toleransları bitki türüne, stres faktörüne, strese maruz kalma süresine ve strese maruz kalan doku veya organının yapısına bağlı olarak değişmektedir.

Bu nedenle bitkilerin bu stres koşullarına tepkilerinin ve geliştirdikleri uyum mekanizmalarının bilinmesi gerekmektedir. Bitkilerin ağır metal toksisite tolerans sınırlarının bilinebilmesi için, metal tür ve miktarı, yarayırlılığı, zararın şiddeti ve türü ayrıca zarar oluşum süreci göz önüne alınmalıdır.

Gübreleme, pestisid kullanımı, endüstriyel atık ve gazlar aracılığıyla toprağa bulaşan ağır metallerin bitkiler aracılığıyla topraktan uzaklaştırılması **fitoremediasyon** olarak adlandırılmaktadır.

Fitoremediasyonun başarılı olarak yürütülebilmesi için bulaşmanın olduğu alanlarda biyokütle oluştururken önemli miktarda metal biriktiren hiperakümülatör bitki türlerinin kullanılması gerekmektedir. Hiperakümülatör bitkilerinin ağır metal içerikleri ve gereksinimleri biriktirici olmayan türlere göre daha fazladır.

Bu bitkiler, 10 ppm'den daha fazla Hg, 100 ppm Cd, 1 000 ppm Co, Cr, Cu ve Pb, ve 10 000 ppm Ni ve Zn içerirler.

Bugün bilinen 400 ağır metal biriktirici bitki bulunmaktadır.

Bu özelliğe sahip hakim familyalar Asteraceae,  
Brassicaceae, Caryophyllaceae, Cyperaceae,  
Fabaceae, Lamiaceae, Poaceae, Violaceae ve  
Euphobiaceae'dir.



Brassicaceae familyası 11 cins ve 87 türle bu özelliğe sahip en geniş familyadır. Brassicaceae familyasından nikel biriktiren 7 cins ve 72 tür bilinmektedir .



Bu arada bazı cinslerin de birden fazla ağır metali biriktirebilme özelliğinde olduğu bildirilmektedir. Örneğin *Thlaspi caerulescense* Cd, Ni, Pb ve Zn; *T. goesingense* Ni ve Zn; *T. ochroleucum*, Ni ve Zn ve *T. rotunolifolium* Ni, Pb ve Zn biriktirir. Bu bitkiler çevredeki metallerin zararlı etkilerini gidermede büyük bir potansiyele sahiptir.



*Thlaspi caerulescense*



*T. ochroleucum*

Bitkiler bu toksik materyalleri ya da izotopları, kökleri vasıtasıyla alarak, onları kolayca uzaklaştırabilecekleri gövde, yaprak gibi organlarına taşımaktadır. Araştırmacılara göre kirlenmiş toprakları bitkiler kullanarak temizlemek; bu zehirli atıkları kazarak ve taşıyarak ortamdan uzaklaştırmaktan 10 kat daha ucuzdur.

Brassicaceae (Lahanagiller) familyasının üyeleri en iyi bilinen hiperakümülatör bitkiler olup, bu tür bitki gruplarının yaklaşık % 25'ini oluşturur. Brassicaceae familyasına dahil olup da metal biriktiren bitkiler dünyanın değişik yerlerinden toplanmış ve hiperakümülasyon görevi gören önemli genler tanımlanmıştır.

Floramız zerine yapılan çalışmalar arttıkça türlerin yeni kullanım alanları da ortaya çıkacağı gibi, hiperakmlasyon gibi bazı sıra dışı özelliklerde gündemdeki yerini koruyacaktır. Gelişmiş ülkelerde ağır metallerce kirlenmiş toprakların oldukça büyük alanları kapsamasına rağmen ülkemizde henüz ciddi boyutlarda ağır metal kirliliği bulunmamaktadır. Hemen tüm ağır metaller bedende birikip süreğen (kronik) rahatsızlıklara yol açabilme özelliğindedir ve düşük miktarlarda bile ciddi sağlık sorunlarına yol açabilmektedir.

18 familyadan 38 adet hiperakümülatör tür ülkemizde yer almaktadır. Tür sayısı açısından en zengin familya 13 türle Poaceae familyasıdır. Bu ve diğer familyalarda yer alan birçok türün insan ve hayvanlar tarafından gıda olarak kullanıldığı dikkat çekmektedir. Fitoremediasyonda yeni bitki türleri, ağır metalce kirli alanların temizlenmesinde büyük umutlar vaat etse de çoğunluğu yenilebilir veya kültüre alınmış olan özellikle Brassicaceae gibi familyalara ait türler üzerindeki risklerde göz ardı edilmemelidir.

Ağır metal içeriği yüksek bir toprakta yetiŐen otlarla beslenen hayvanlardan bu ağır metaller et ve süt yolu ile insan bünyesine geçebilmekte ve gelecekte büyük bazı potansiyel tehlikelere sahip olabilmektedir. Bu nedenle hiperakümülatör bitkiler sadece doğayı temizleme yada bitkisel madencilik özellikleri bakımından incelenmemeli, aynı zamanda özellikle gıda olarak tüketilen bitkiler konusundaki risklerde değerlendirilmelidir.

Bu bitkilerin tolerans mekanizmaları özetlenecek olursa;

a) Hücre duvarlarına metal bağlanması

b) Hücre membranlarına doğru taşınımın azalması: Ağır metallerin bitki köklerinde tutulup, gövde ve sürgünlere taşınmasının engellenmesi ile taşınma azaltılmaktadır.



c) Vakuollerde depolama: Zn elementi Zn fitat, malat ve oksalat gibi düşük molekül ağırlıklı organik bileşikler halinde, Cd tiol gruplarına ve Ni histidin ile bağlanması sonucunda vakuollerde depolanır.

d) Şelatlama: Cd'un, thiol gruplarına, Pb glutathione ve aminoasitlere bağlanarak fitoşelatlar oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra organik asitlerden sitrat, malat ve malonate ile birleşerek fitoşelatları oluşturmaktadırlar.

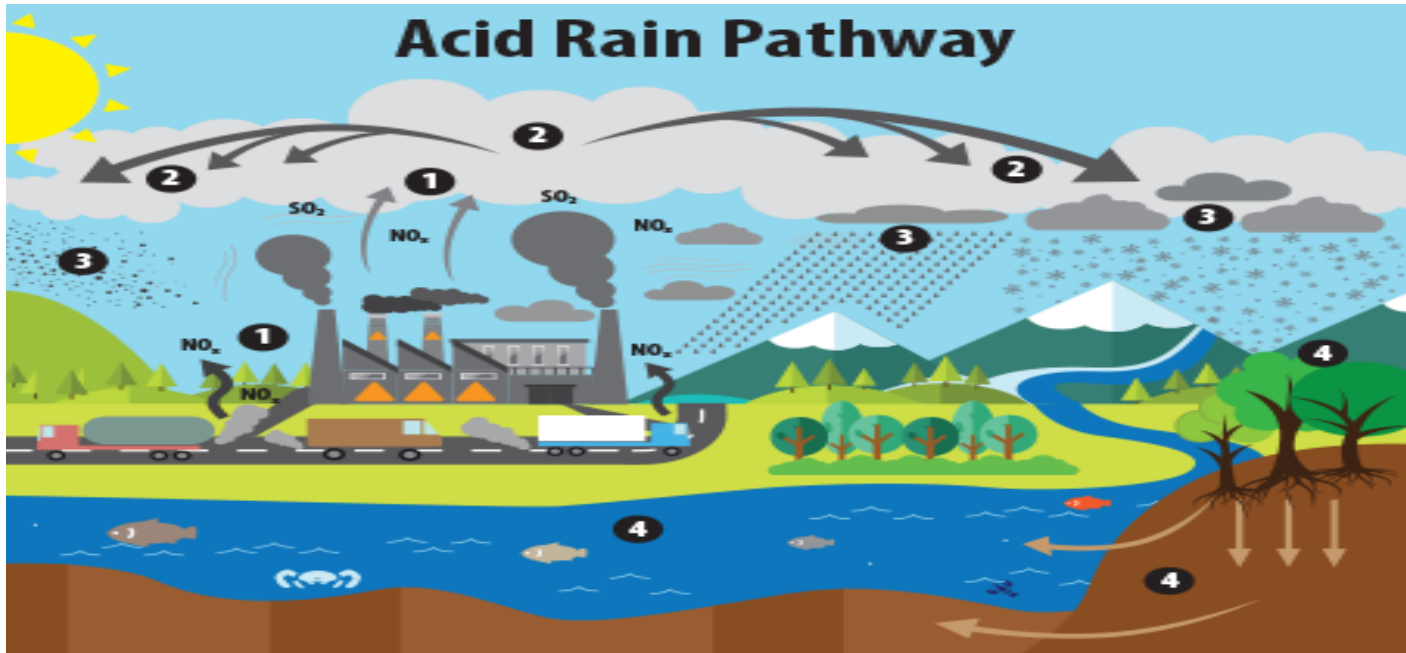
## ***Hava-Toprak-Ağır Metal İlişkisi***

Kuru havadaki toz ve gazlar bir süre havada asılı kaldıktan sonra başta ağaçlar olmak üzere, bitkiler ve toprak tarafından tutulur ve burada birikirler. Yağışlı havalarda ise havadaki zararlı maddeler ve ekosistemde kuru olarak birikmiş olanlar yağış suyuyla toprak suyuna karışırlar, hatta akarsuların da kirlenmesine yol açarlar.

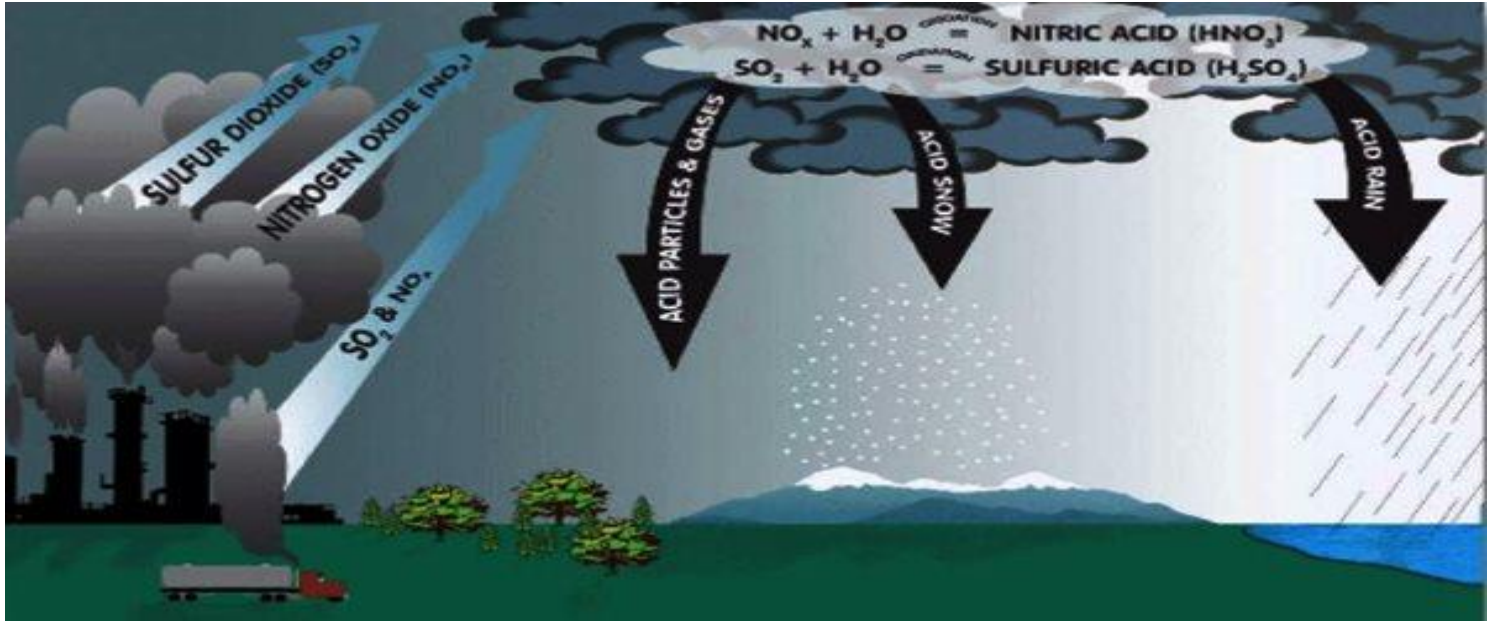
Bu olumsuz gelişmelerle hava, su ve toprak doğal özelliğini kaybederek, ekosistemdeki tüm canlılar için zararlı maddelerle yüklenmiş olur. Toprağın kirlenmesi, hava kirliliği ile yakından ilgilidir. Hava kirliliğinin sebebi; endüstriyel kuruluşların, termik santrallerin, taşıtların yakıt ve atık gazlarıdır. Bunlardan oluşun asit ve alkali yağmurlar toprağın fiziksel ve kimyasal yapısını değiştirerek toprağın kirlenmesine sebep olmaktadır.



Hava kirliliğinde etkili kükürt dioksit ( $\text{SO}_2$ ), azot oksit ( $\text{NO}_x$ ) gibi gazlar, hava nemi ile birleşerek asitleri oluşturmakta ve yağışlarla toprağa inerek toprağın da asitleşmesine yol açmakta, yani pH değerini düşürmektedirler.



Asitliği artan topraklarda ağır metal iyonlarının yoğunluğu artmakta ve toprağın iyonları tutma g¼c¼ azalarak Ca, Mg, K gibi besin elementlerinin sızıntı suyuyla yıkanmasına sebep olmaktadır.



Bu durumda topraktaki bazik element miktarı azalmakta, buna karşın asit element miktarları artmaktadır. Asit elementlerinin topraktaki artışı, bitki kökleri ve mikroorganizmalar üzerinde zehir etkisi yapabilmekte, hatta ölüme neden olabilmektedir.

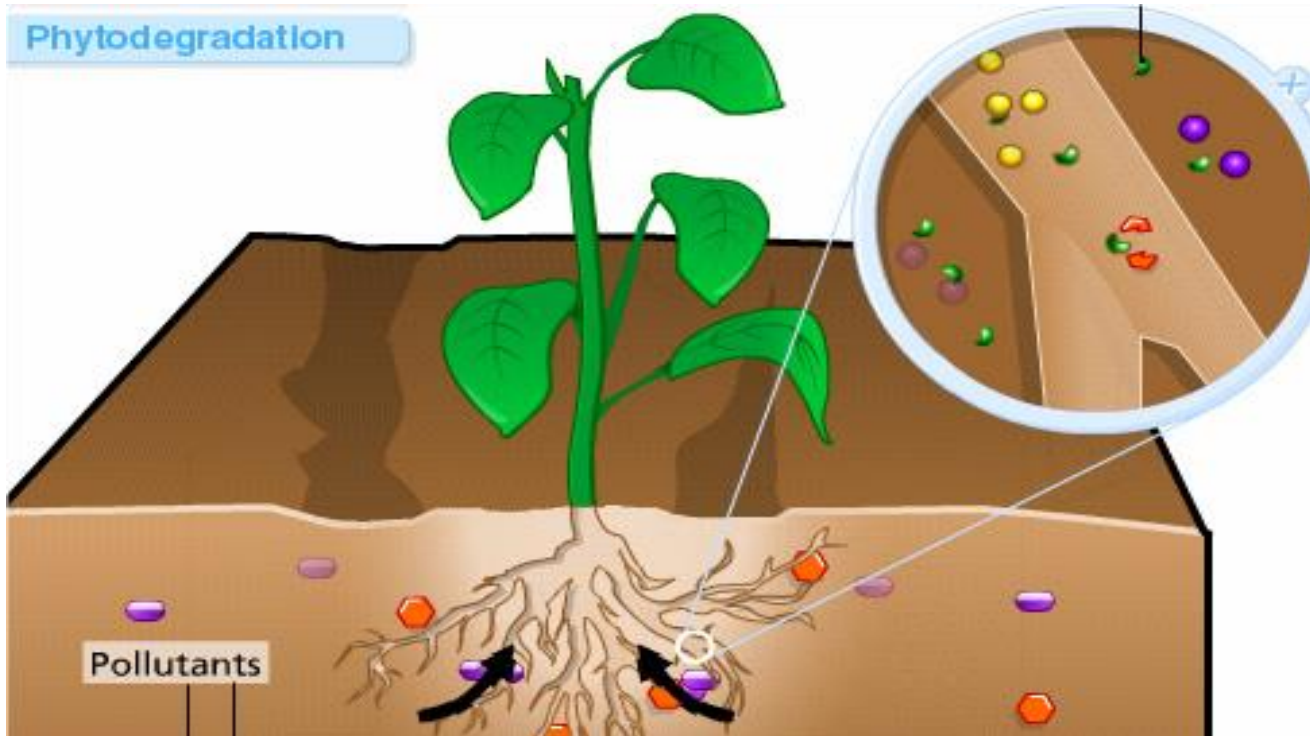
Toprağın asitliği ile ağaçların ağır metal alımı arasında pozitif bir korelasyon vardır. Yerkürede mevcut ağır metal bileşiklerinin çözünlüğü, çözeltilinin pH'ına oldukça yüksek bir düzeyde bağlıdır.



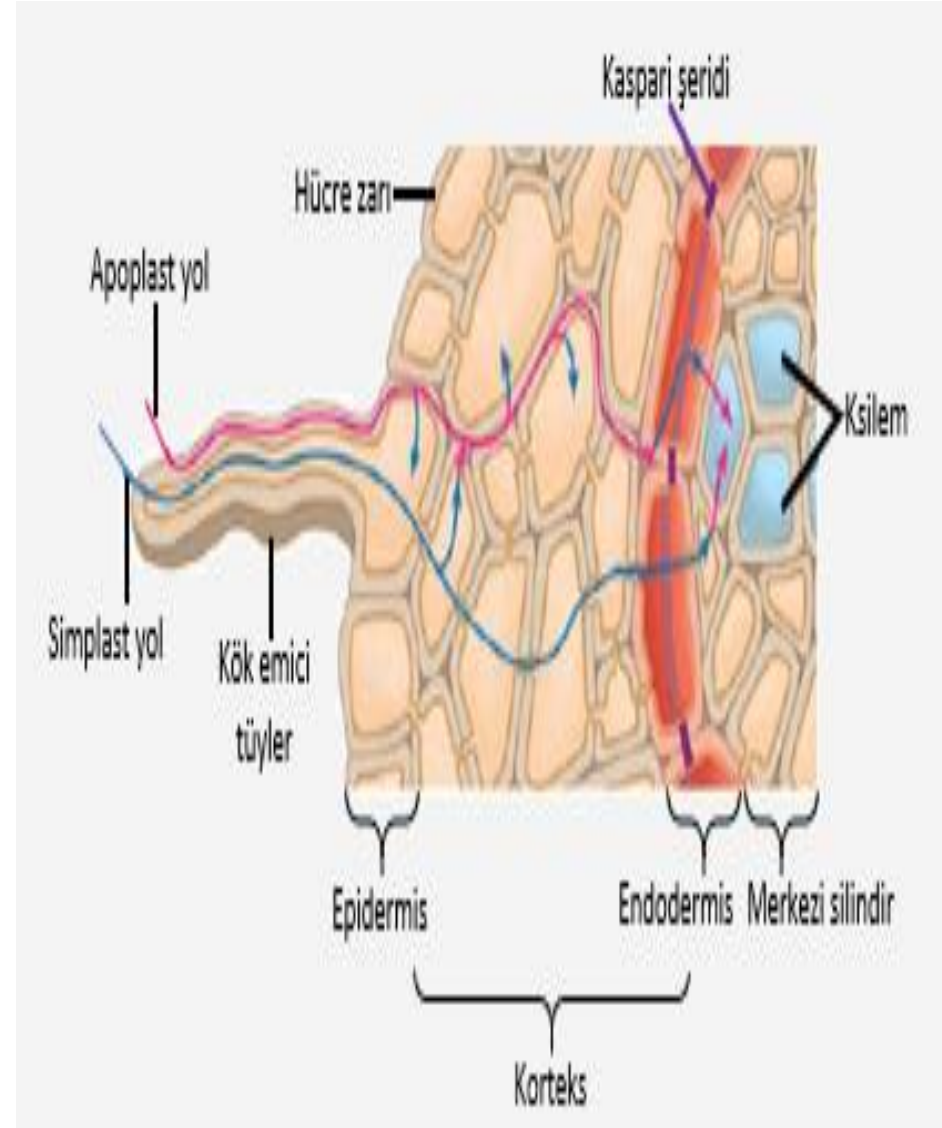
Toprak reaksiyonu asit, yani pH derecesi küçük ise ağaçlar topraktan Al, Fe, ve Mn gibi ağır metalleri bol miktarda alırlar. Toprağın asitleşmesi ile ağır metallerin bitkilere verdiği zarar bitkinin cinsine ve türüne göre değışse de kirliliğın giderek artmasının, orman ekosistemini bozduğıu bilinmektedir.

Topraktaki ağır metallerin bitkilerin yapısına girmeleri, hareketli hale geçtiklerinde (serbest iyon haline) taban suyuna karışarak suyun niteliğini bozmaları, mikroorganizmalara zarar vermeleri, besin zincirine girerek diğer canlılara dolaylı yoldan zarar vermeleri, hücrelerde plazmanın sertleşmesi, şişme büzülme, proteinlerin çökmesine neden olmaları en tehlikeli özellikleridir.

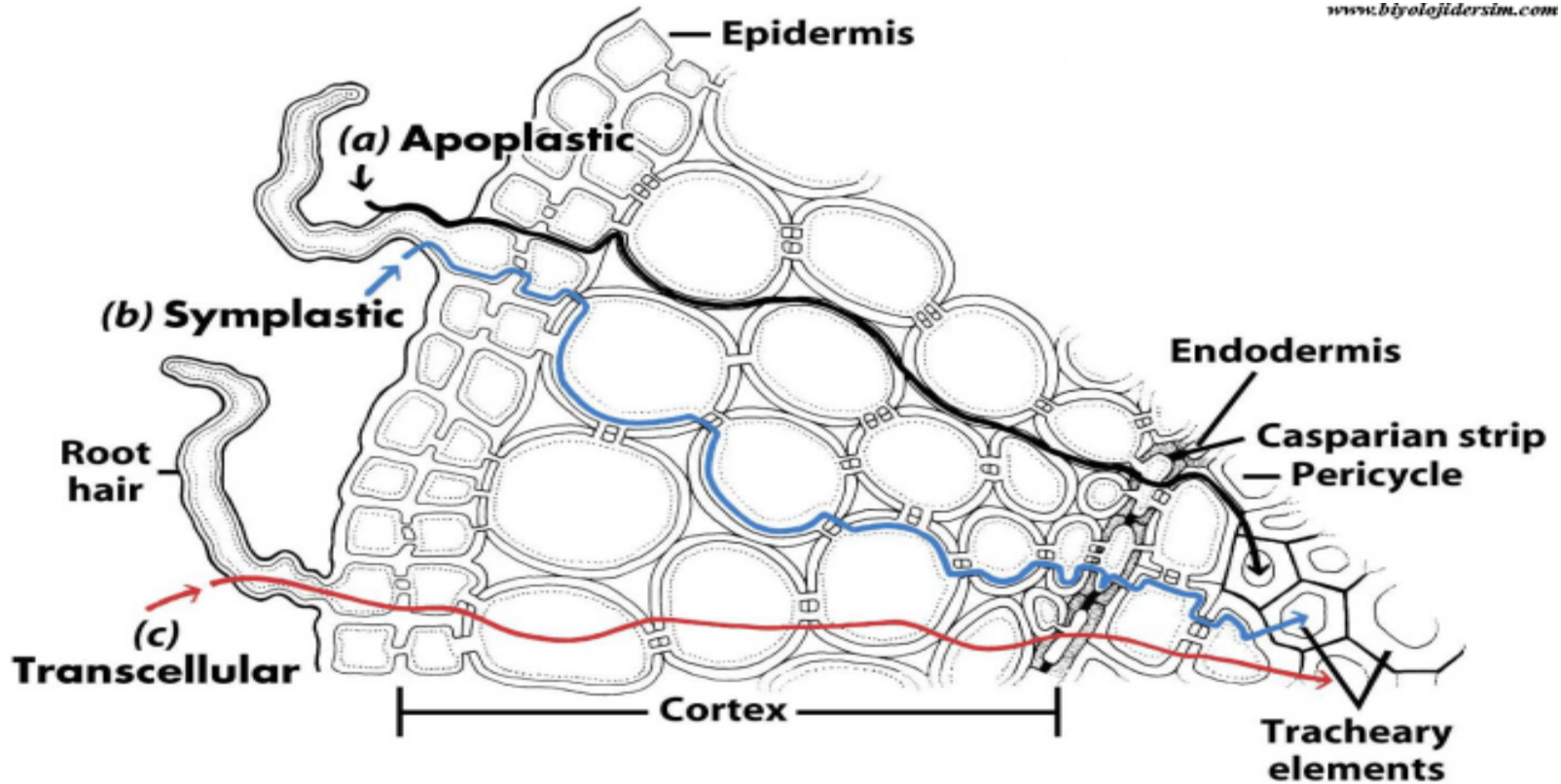
Bitkiler tarafından metal iyonlarının alınımı; metal iyonlarının kök yüzeyine tutunması, kök içine alınımı ve kütle akışı ve difüzyon aracılığıyla gövdeye translokasyonunu kapsamaktadır.

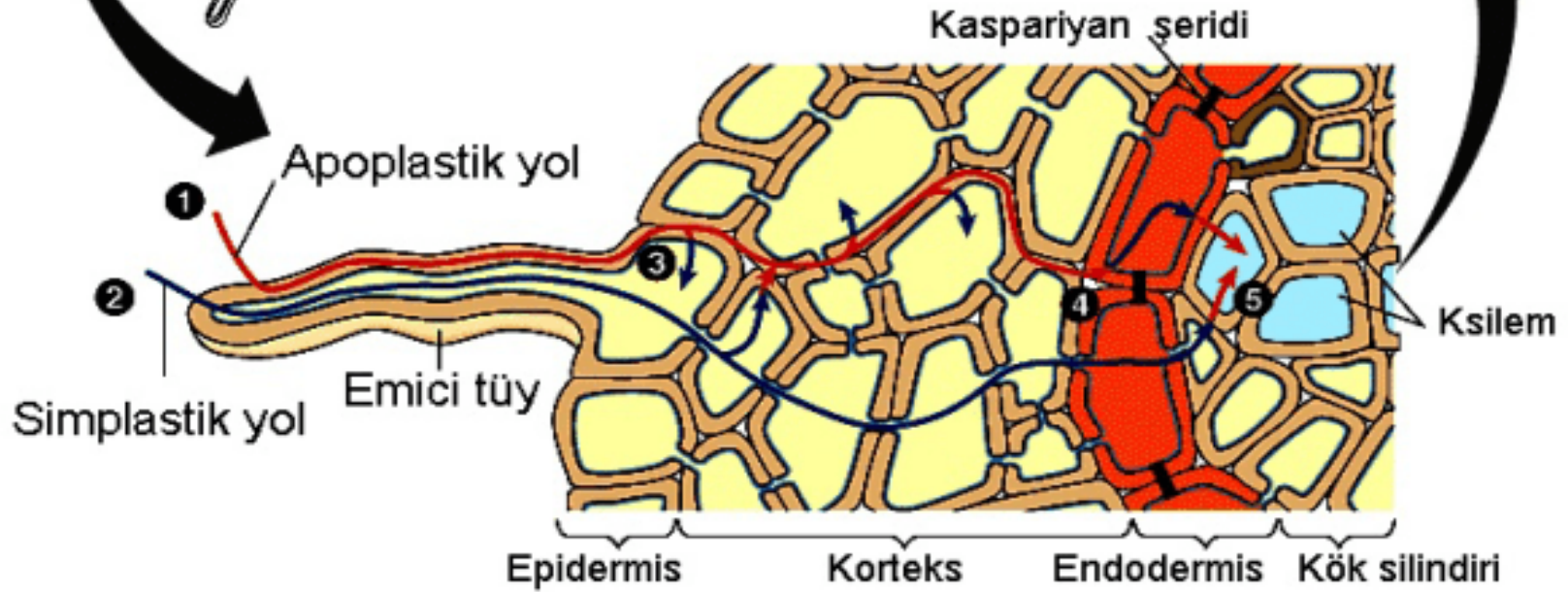
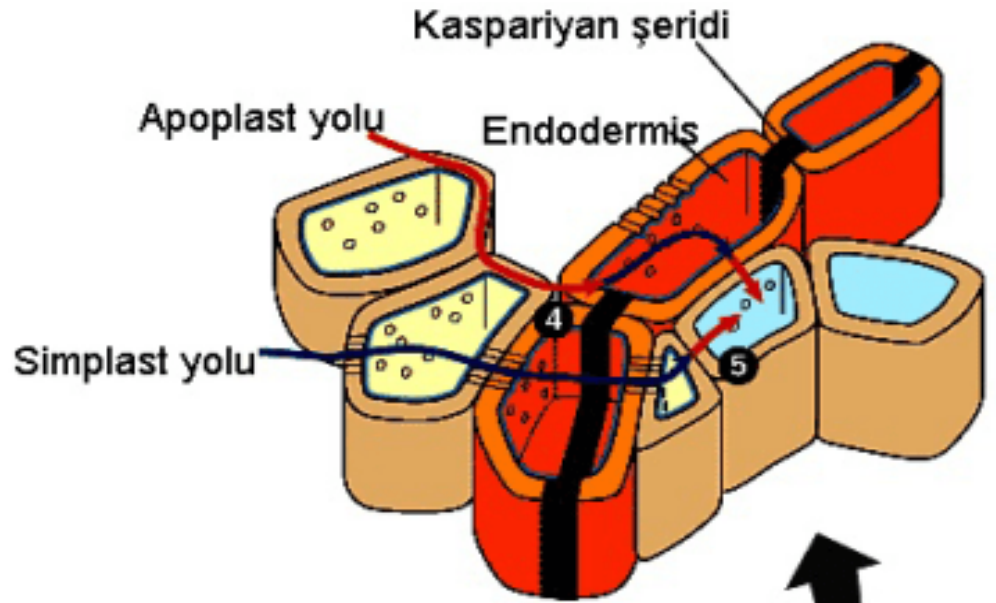
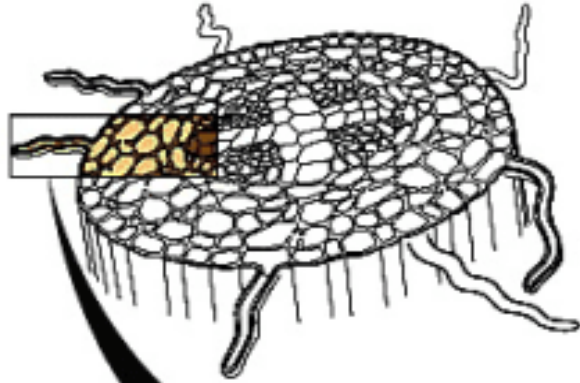


Bitki türüne ve metal tipine bağlı olarak, metal iyonları kökler tarafından ya simplast (interselüler) ya da apoplast (ekstraselüler) yolla alınmaktadır. Apoplastik taşınım hücre çeperinin katyon değişim kapasitesi ile sınırlandırılmaktadır.



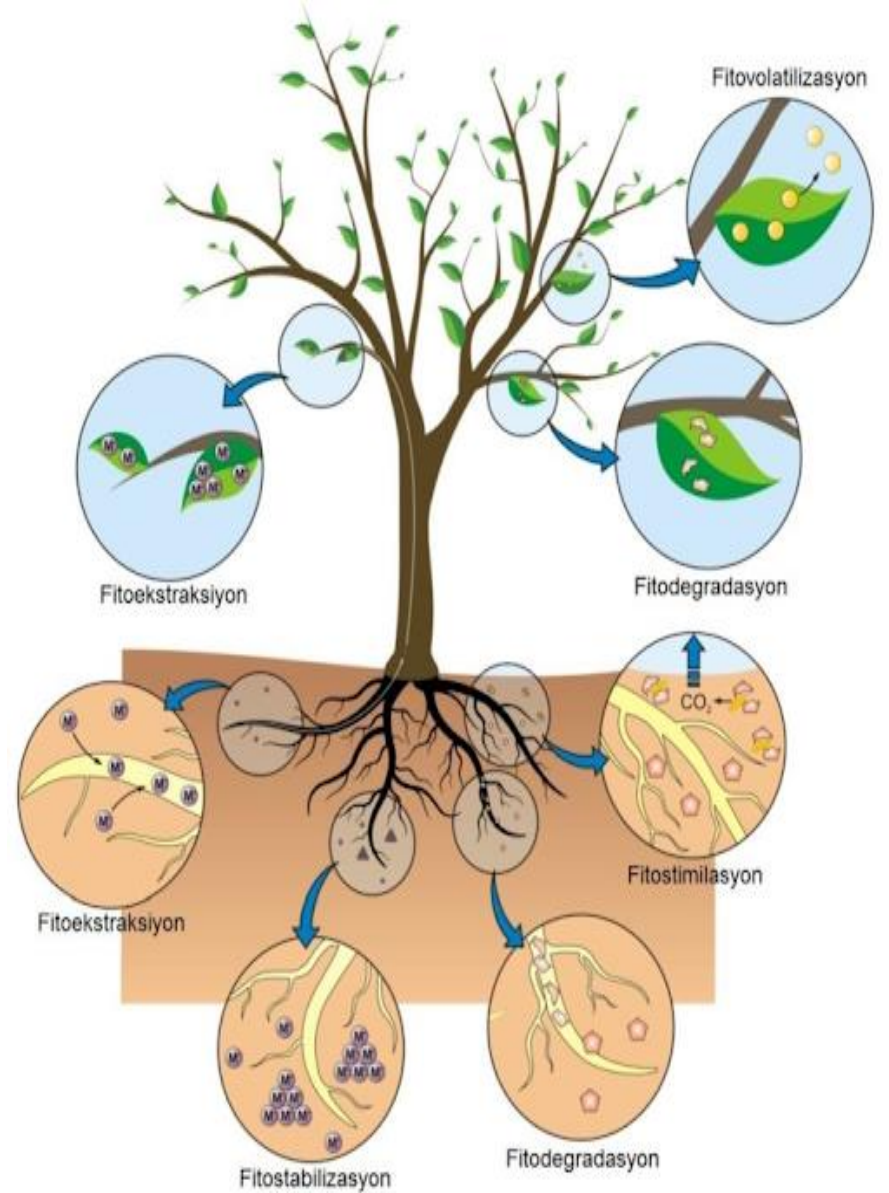
Simplastik taşınımında, metal iyonları yaklaşık 170 mV'luk negatif potansiyele sahip plazma membranından geçmektedir. Bu membran potansiyeli, metal iyonlarının hücre içine hareketi için kuvvetli bir elektrokimyasal gradiyent sağlamaktadır.





Metal iyonlarının çoğu enerji gerektiren bir işlemle spesifik veya genel iyon taşıyıcıları veya kanalları aracılığıyla bitki hücrelerine girmektedir.

Bir bitkinin herhangi bir ağır metale olan tolerans mekanizmasının anlaşılması, kirlenmiş alanların fitoremediasyonu için uygun bitkilerin geliştirilmesi için oldukça önemlidir.





Bitkilerde ağır metal toleransı birbiriyle ilişkili fizyolojik ve moleküler mekanizmalar tarafından belirlenmektedir.

Toksik metallerin artan seviyelerine tolerans, toksik elementlerin bitki dışında tutulması (exclusion) veya metabolik toleranstan kaynaklanmaktadır.

Detoksifikasyon ve içsel alıkoyma, toprak üstü organlarında herhangi bir fitotoksik etki göstermeksizin yüksek miktarlarda ağır metalleri biriktirebilen hiperakümülatör bitkiler için önemli bir özelliktir. Hiperakümülatör bitkilerin toprak üstü organlarında detoksifikasyon ve alıkoyma mekanizmaları genel olarak ağır metallerin ligandlar ile kompleks oluşturulmasını veya ağır metallerin metabolik olarak aktif sitoplazmadan vakuol ve hücre duvarı gibi inaktif bölgelere taşınımını kapsamaktadır.

Bitkilerde vakuol genellikle metal iyonları için ana depo bölgesi olarak kabul edilmekte ve fitoşelatin (PC)-metal kompleksleri vakuollere pompalanmaktadır. Tütün mezofil protoplastları, Cd ile muamele edildiklerinde Cd'un büyük bir çoğunluğunun vakuolde biriktiği belirtilmiştir. Vakuolde metal iyonlarının kompartımanlaştırılması bazı hiper-akümülatör bitkilerde tolerans mekanizmasının bir parçasını oluşturmaktadır.

Fitoremediasyon teknolojisi, ağır metallerle kirlenmiş toprak ve su kaynaklarının iyileştirilmesi için kullanılmaktadır.

Hiperakümülatör bitkiler, ağır metallerle kirlenmiş alanların fitoremediasyonu için bu bitkilerin potansiyel kullanımlarından dolayı son yıllarda artan ilgi görmektedir.

Bununla birlikte, bu teknolojinin kullanımındaki sınırlamalar, teŖhis edilen hiperakümülatör bitkilerin çoğunun hem düşük biyokütleyle sahip hem de olumsuz çevre koşullarına adapte olamamasından kaynaklanmaktadır. Bu sınırlamaların üstesinden gelebilmek için bitkilerdeki metal hiperakümülasyonu ile ilişkili mekanizmaların iyi şekilde anlaşılması gerekmektedir.

Metal alınımı, taşınımı ve içsel alıkoyma mekanizmaları ile ilgili bilgilerin elde edilmesi fitoremediasyon için transjenik bitkilerin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Hücre içinde ağır metallerin alıkonulması ile ilgili proteinlerin (MT'ler, PC'ler ve vakuolar taşıyıcılar) aşırı üretiminin metal birikimi ve subselüler yapılarda metal depolanmasını arttırdığı bilinmektedir.

Ayrıca, artan ağır metal birikimi plazma membranlarındaki taşıyıcıların aşırı üretimi ile de sağlanabilmektedir. Fitoremediasyon için aday gen veya proteinlerin proteomik ve genomik teknolojileri ile araştırılması sonucunda elde edilecek veriler sayesinde bitkilerdeki metal metabolizması ve metallere kirlenmiş alanların remediasyonu için yeni bitkilerin geliştirilmesi önemli olacaktır.