

**AĞIR METAL SONUCU MEYDANA GELEN  
ANATOMİK DEĞİŞİKLİKLER**

Toprakların ağır metallere

kirlenmesi küresel bir problemdir.

Ağır metallere kaynaklardan

toprağa taşınması, ekosisteme,

tarımsal alanlara ve insan

sağlığına ciddi tehditler oluşturur.



Örneğin, toprakta bulunan Cd ve Pb'un yüksek konsantrasyonları özellikle tarla bitkilerinin büyüme ve gelişmesini etkileyerek, ürün veriminin ve tüketilebilir olma özelliğinin (sağlık açısından) azalmasına neden olmaktadır.

Bitkiler, gelişimleri için gerekli olmamasına rağmen, aldıkları Cd ve Pb'u organlarında çeşitli konsantrasyonlarda biriktirmektedirler. Dokularda biriken bu metaller, besin zinciri yolu ile besin zincirinin her basamağında miktarı daha da artarak diğer canlılara geçmekte ve insan sağlığını tehdit edecek toksik düzeye ulaşmaktadır.

İnsan beslenmesinde önemli rolü olan bitkilerin, bu metalleri ne kadar biriktirdikleri ve ne ölçüde zarar gördüklerinin tespiti sağlık açısından oldukça önemlidir. Bitkinin türüne göre değişmekle birlikte, belli bir konsantrasyondan sonra Cd ve Pb alınımı, bitkilerde çeşitli zararlara yol açmaktadır.

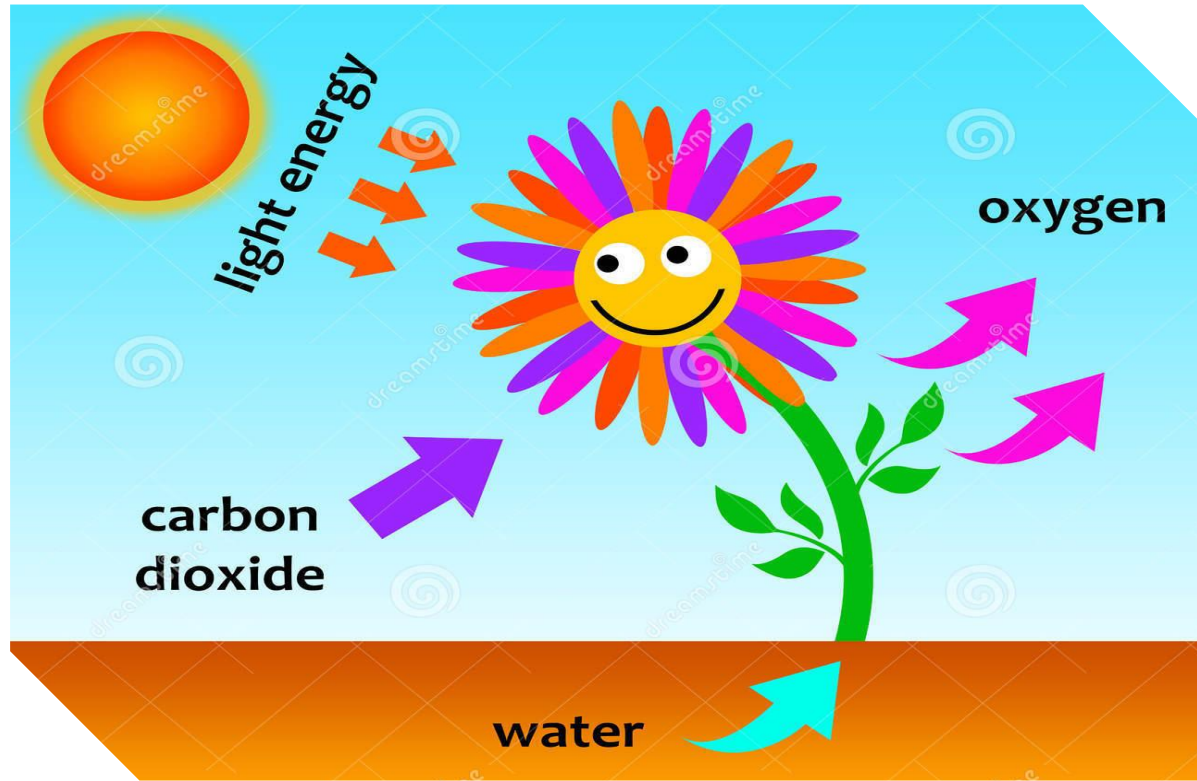
Son yıllarda artan Cd ve Pb kirlenmesi, Türkiye için de önemli bir sorun haline gelmektedir. Özellikle tarım için ayrılmış topraklarda bu metallerin birikimi, insan beslenmesinde önemli yeri olan buğday, arpa ve mısır gibi tarım bitkilerinde önemli ürün kayıplarına neden olabilmektedir.



Ağır metaller arasında, krom (Cr) toksisitesi de özellikle gelişmekte olan ÷lkelerde, mahsullerde ciddi bir problem haline gelmiştir. Bitkilerde Cr toksisitesi, dñřük verim, yaprak ve kök bñyümesi, enzim aktiviteleri ve mutagenez üzerindeki inhibisyona kadar birçok seviyede gözlenir.

Çeşitli mahsüller tarafından Cr alımı ve birikimi iyi bir şekilde belirlenmiştir. Cr, bitkilere toksiktir ve esasi olmayan bir elementtir, dolayısıyla bitki tarafından alınımı için spesifik mekanizmalara sahip değildir.





Krom stresi, fotosentez, CO<sub>2</sub> fiksasyonu, elektron transportu, fotofosforilasyon ve enzim aktivitelerini etkileyen en önemli faktörlerden biridir.

Cr stresinin fotosentez ve mineral alımı gibi bazı fizyolojik olaylarda olduğu gibi aynı zamanda anatomik özellikler üzerinde de değişikliklere sebep olduğu belirlenmiştir.



Yapılan araştırmalar, Cr konsantrasyonunun köklerde gövdelerden daha yüksek seviyede olduğunu ortaya koymuştur. Bu olay köklerin Cr alımına daha fazla maruz kalmalarına bağlanmaktadır.

Aynı zamanda Cr, kök hücrelerinin vakuollerinde tutulmakta ve böylece daha az toksik hale getirilerek bitkiye olan zararı da azaltılmaya çalışılmaktadır.

Farzadfar ve Zainkamar (2012), bakır ve kadmiyum gibi bazı ağır metallerin bitkilerin kök, gövde ve yapraklarında bazı anatomik değişikliklere sebep olduğunu belirtmişlerdir.

Farklı bitkilerin köklerinin Cr stresine maruz kalması kök yarıçapı, floem ve ksilem kalınlığı, periskl kalınlığı ve epidermal ve parenkima hücrelerinde bazı değişikliklere sebep olmaktadır.

Barcelo ve ark. (1988), artan ağır metal birikiminin gövdedeki iletim demetlerinin kalınlığında önemli değişikliklere sebep olduğunu tespit etmişlerdir. Zhao ve ark. (2000) da, ağır metallerin *Arabidopsis halleri* (L.) O'Kane&Al-Shehbaz nin mezofil hücrelerinin büyüklüğünde bir azalmaya sebep olduğunu ortaya koymuşlardır.

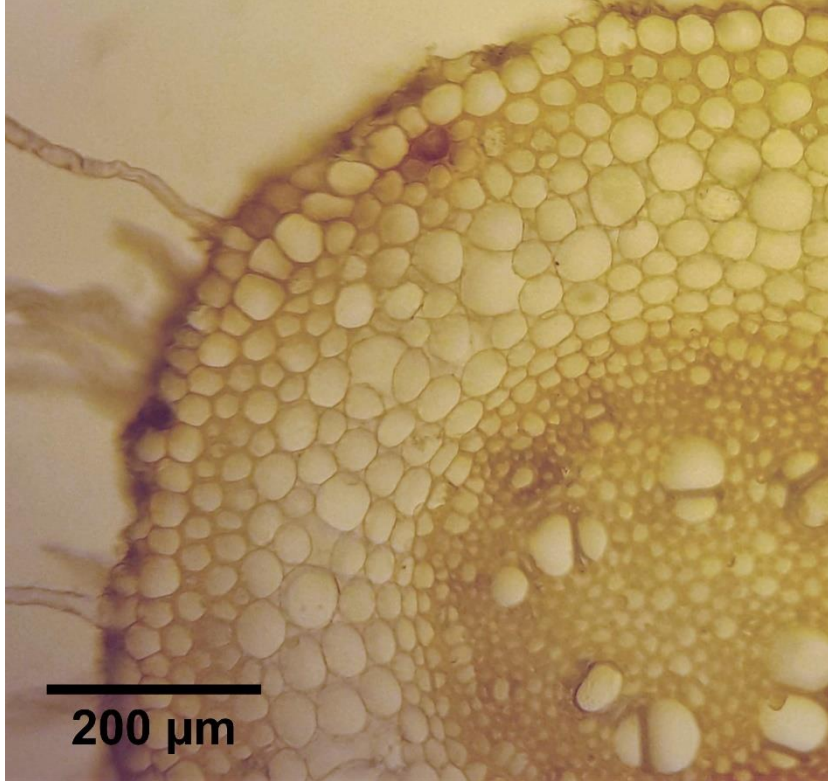
Buna benzer bulgular, diğer bitkilerle yapılan araştırmalarla da desteklenmiştir. Özellikle Cr (IV)'ün bitkilerin kök, gövde ve yapraklarında bazı anatomik değişikliklere sebep olduğu bilinmektedir.



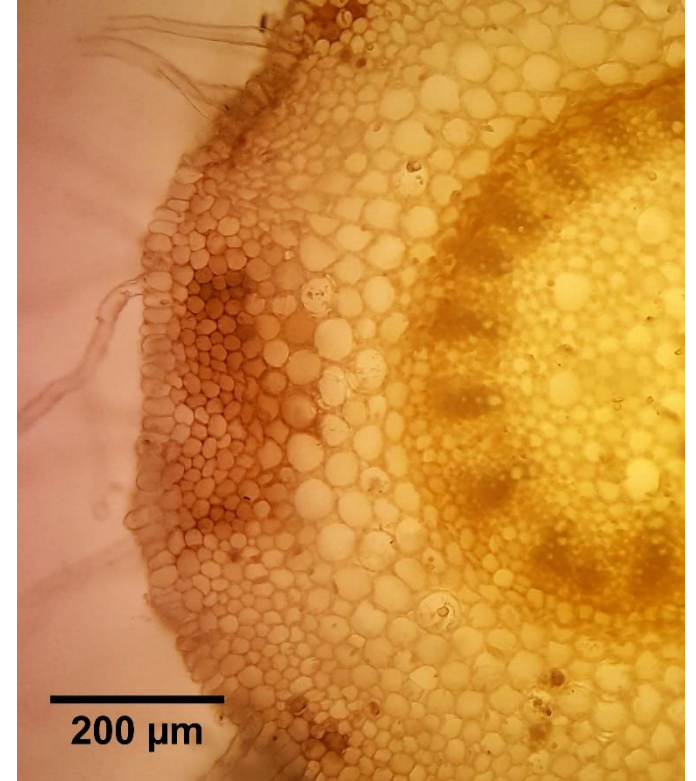
Krom ile mumele edilen buğday bitkilerinde de kök, gövde ve yaprak anatomisinde bazı değişiklikler tespit edilmiştir. Bu anatomik değişiklikler şu şekilde açıklanabilir:

Anatomik araştırmalar için kök, gövde ve yapraklardan alınan kesitler, kromu daha iyi tespit edebilmek amacıyla 0.2 % **Chrome Azurol S solusyonu (CAS)** ile for 24 saat oda sıcaklığında tutularak boyanmıştır.

Cr ile muamele edilen bitkilerin köklerinin ekzodermis hücreleri boyunca krom biriktirdiği tespit edilmiştir.

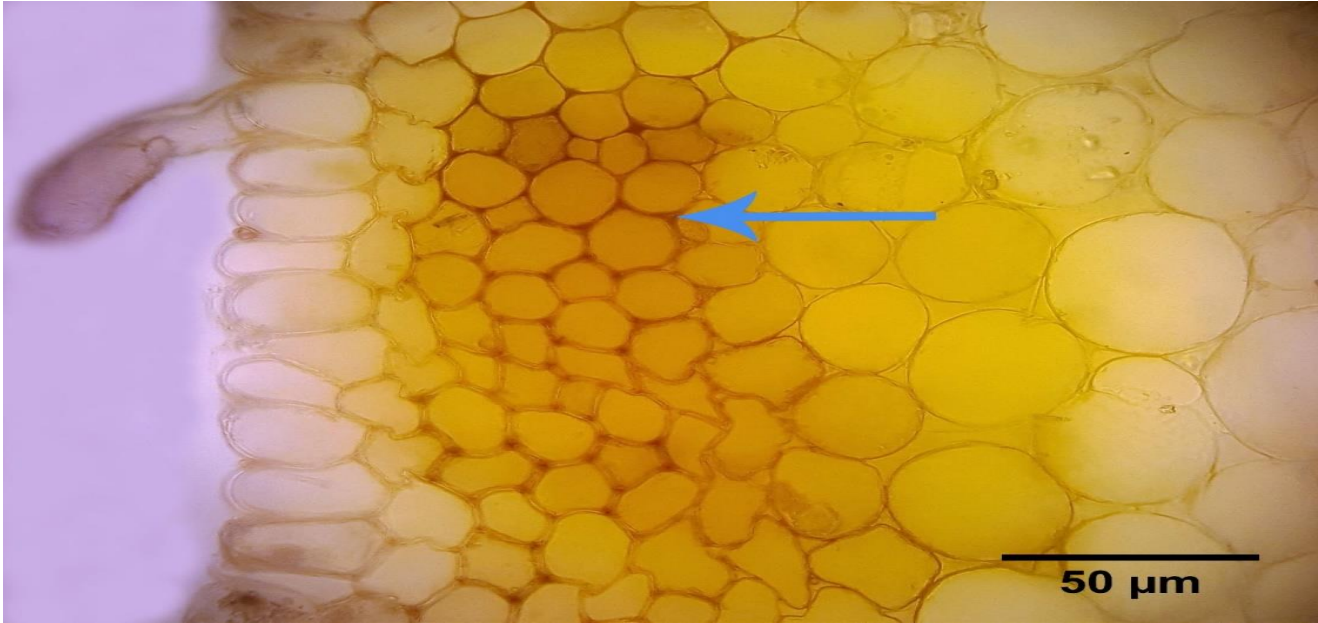


Kontrol bitkisinin kök enine kesiti



3 mM Cr ile muamele edilen bitkilerin kök enine kesiti

Yüksek konsantrasyonlarda krom ile muamele edilen köklerde krom, ekzodermis tabakası boyunca birikmiştir. Şekilde renkli tabaka halinde görülen bölge Cr birikimlerini göstermektedir.



4 mM Cr uygulanan *T. aestivum* 'un kök enine kesiti →Cr birikimlerini göstermektedir.

Yüksek konsantrasyonlarda krom uygulaması tabloda da görüldüğü gibi kök eksodermis kalınlığında önemli bir artışa sebep olmuştur.

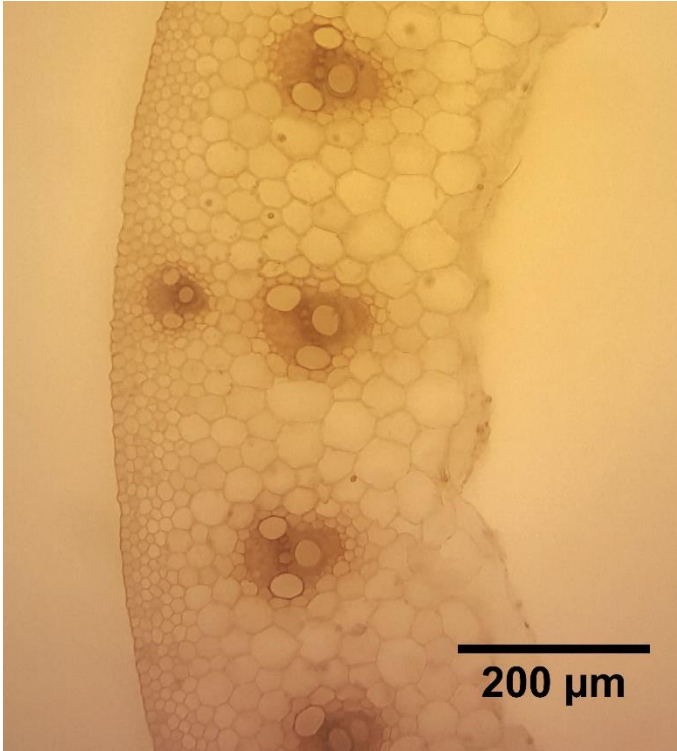
Özellikler	Kontrol	3mM Cr	4 mM Cr
Epidermis h. eni	24.83+5.842a	28.24+4.824b	33.74+5.539c
Epidermis h. boyu	30.52+5.083c	25.68+6.360b	20.81+4.637a
Eksodermis kalınlığı	51.96+10.378a	66.96+11.236b	90.66+20.024c
Eksodermis h. eni	26.27+5.271b	24.57+4.499ab	21.75+5.969a
Eksodermis h. boyu	27.01+3.956b	25.53+5.289b	21.78+3.540a



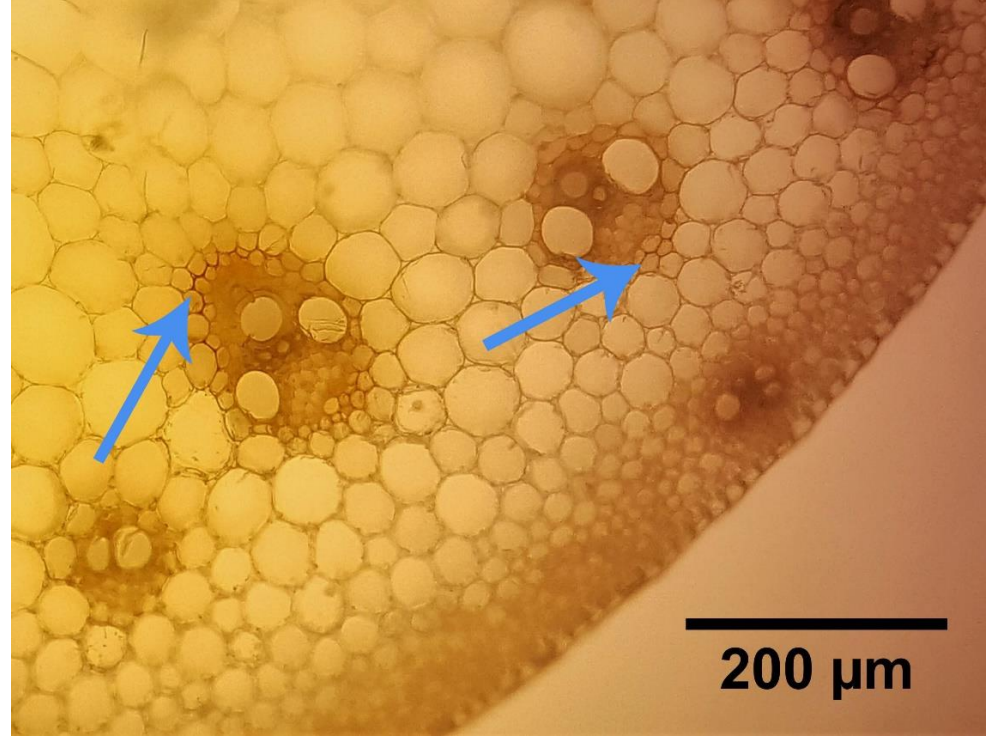
Cr uygulanan köklerin köklerinde görülen önemli bir değişiklik de epidermal hücrelerdeki bozulmalardır.

Yüksek konsantrasyonda Cr uygulanan *T. aestivum* kök enine kesiti.

Cr uygulanan gövdelerde de bazı spesifik anatomik değişiklikler tespit edilmiştir. Gövdede Cr birikimleri özellikle de iletim demetleri boyunca dikkati çekmektedir.



Kontrol bitkisinin gövde enine kesiti



4 mM Cr uygulanan *T. aestivum* gövde enine kesiti.

Krom uygulamasına bağlı olarak parenkima hücrelerinin çapı kontrol grubuna kıyasla önemli derecede artmıştır.

Özellikler	Kontrol	3 mM Cr	4 mM Cr
Parenkima h. çapı	28.83+9.359a	46.41+9.359b	66.82+17.212c
Floem kalınlığı	30.70+4.623a	34.06+4.966a	48.11+10.715b
Ksilem kalınlığı	59.82+8.71a	65.98+17.715ab	75.76+19.587b
Trake çapı	35.32+5.828 a	28.40+3.381b	22.87+2.585c



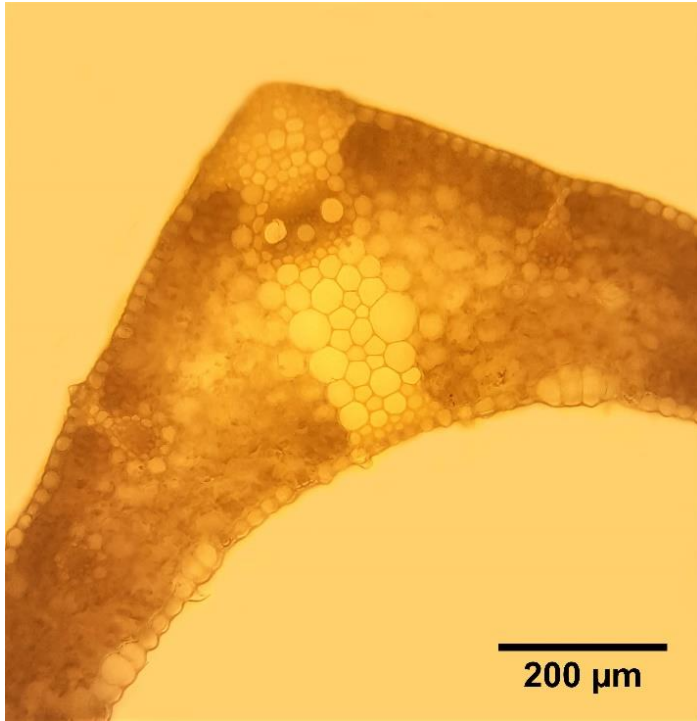
# Buna karşın sklerenkima kalınlığı ve iletim

demetlerinin çapı kontrol bitkilerine kıyasla azalmıştır.

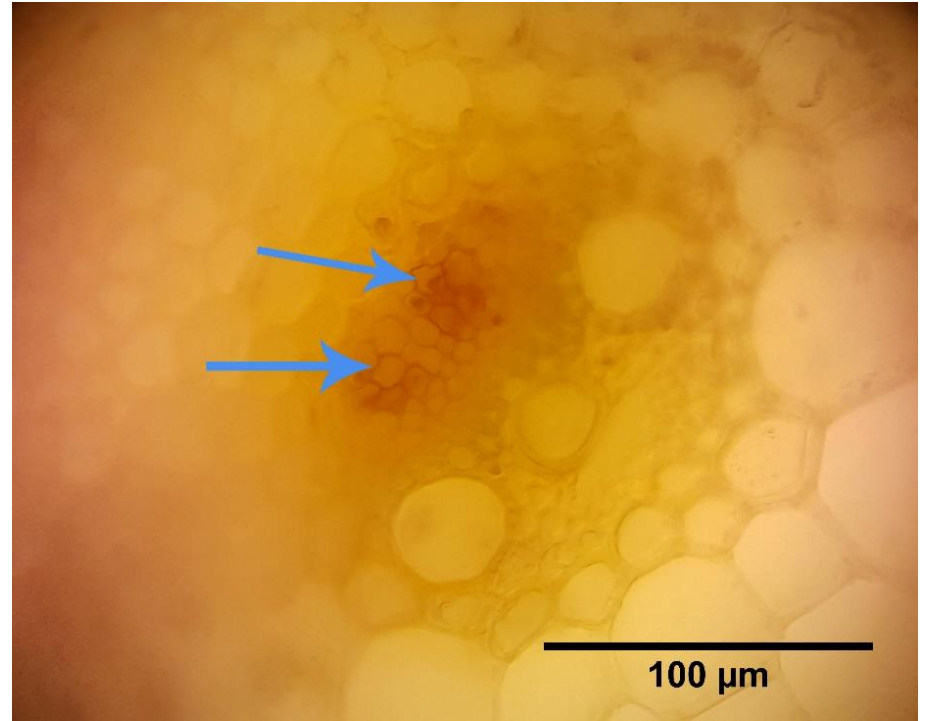
Characters	Control	3 mM Cr	4 mM Cr
The width of epidermis cells	12.36+2.172b	10.08+1.730a	9.90+1.385a
The length of epidermis cells	14.03+1.983a	15.03+2.609a	19.26+2.092b
Thickness of sclerenchyma	<b>54.02+9.860b</b>	<b>52.32+9.860b</b>	<b>36.17+7.068a</b>
The diameter of parenchyma cells	28.83+9.359a	46.41+9.359b	66.82+17.212c
Thickness of phloem	30.70+4.623a	34.06+4.966a	48.11+10.715b
Thickness of xylem	59.82+8.71a	65.98+17.715ab	75.76+19.587b
The diameter of vessel elements	<b>35.32+5.828 a</b>	<b>28.40+3.381b</b>	<b>22.87+2.585c</b>

Krom uygulanan bitkilerin yapraklarında özellikle

de iletim demetleri çevresinde kromun biriktiği tespit edilmiştir.



Kontrol bitkilerinin yaprak eneine kesiti



4 mM Cr uygulanan *T. aestivum* un yaprak kesiti

Yapılan alışma sonuçları, yüksek Cr konsantrasyonu uygulamalarına bağlı olarak yaprak mezofil kalınlığında da azalma olduğunu ortaya koymuştur.

Floem ve ksilem kalınlığı ve trake çapı da tablodaki

verilerden de anlaşıldığı gibi kontrol grubuna göre azalmıştır.

Characters	Control	3 mM Cr	4 mM Cr
The width of adaxial epidermis	16.36+3.575a	18.37+3.864a	21.86+6.958b
The lenght of adaxial epidermis	21.04+3.215a	23.08+3.547a	29.98+4.137b
The width of abaxial epidermis	17.10+2.233a	18.71+3.078a	22.97+3.788b
The width of abaxial epidermis	21.17+2.961 a	24.48+3.461b	26.26+4.108b
The thickness of mesophyll	208.17+8.461b	196.04+9.957b	154.29+9.37a
The thickness of phloem	<b>43.83+9.039b</b>	<b>41.29+8.473b</b>	<b>31.47+5.398a</b>
The thickness of xylem	<b>67.95+8.823c</b>	<b>51.86+9.301b</b>	<b>36.81+5.859a</b>
The diameter of vessel elements	<b>34.92+7.856c</b>	<b>26.89+5.592b</b>	<b>19.50+3.668a</b>
The width of bulliform cells	24.80+5.322a	29.27+8.174a	46.97+8.465b
The lenght of bulliform cells	37.88+6.615a	39.99+8.363a	41.22+3.255a
The width of sclerenchyma cells	14.14+2.554a	16.70+4.538b	17.04+3.254b
The lenght of sclerenchyma cells	21.07+3.043a	23.15+4.284a	22.22+3.740a

Elde edilen sonuçlar, kökte krom birikiminin gövde ve yaprakta olduğundan daha fazla olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, genellikle bitkilerde Cr taşınımının kökten gövdeye oldukça yavaş olduğunu göstermiştir.

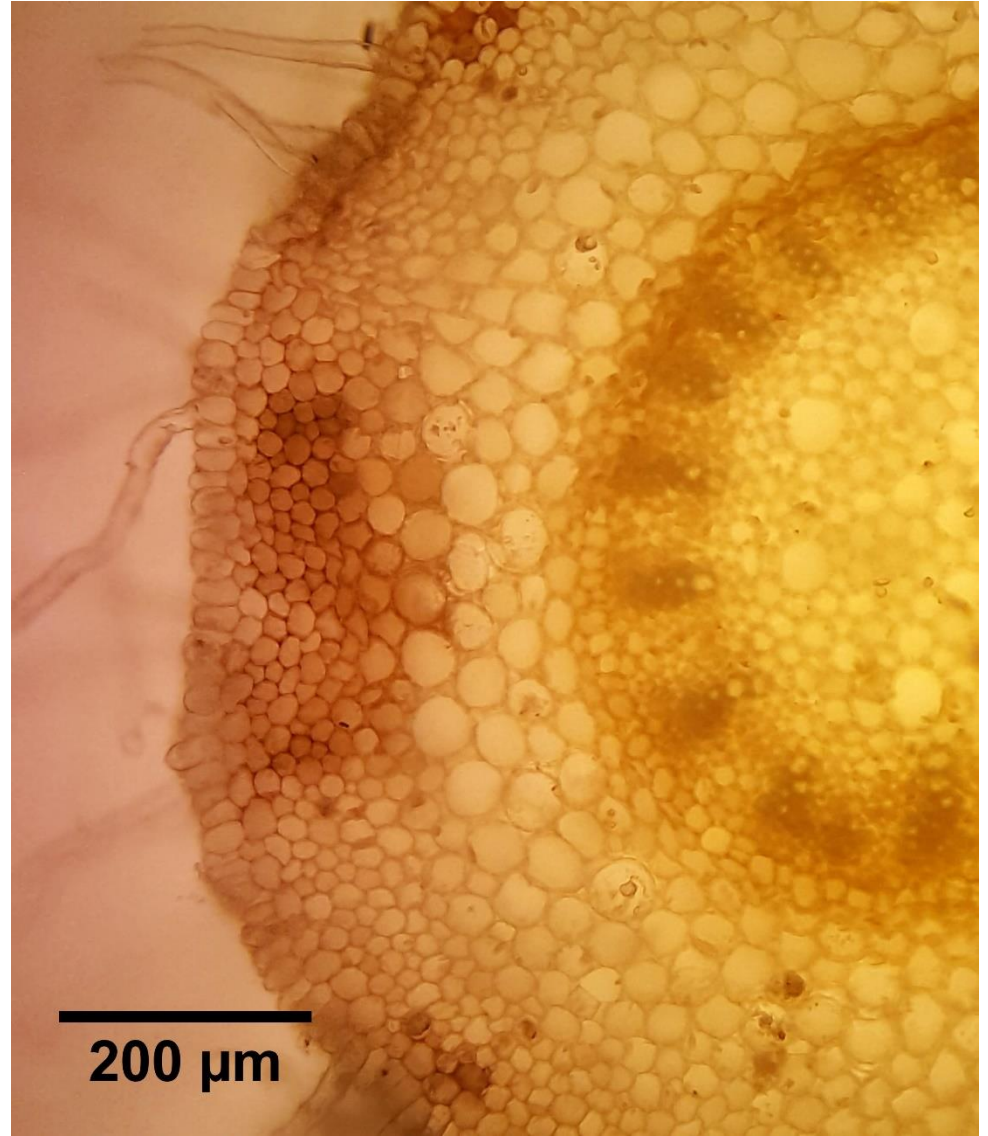
Kökte gelişmiş krom birikiminin önemli bir nedeni de, topraktaki organik asitlerin varlığı olabilir. Böylece kromla kompleks yapan bu organik asitlerin köklerin kromu daha fazla biriktirmesine neden olabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada, köklerdeki yüksek Cr konsantrasyonu, su ve metal alımını etkileyen hücresel bozulmalarla sonuçlanmıştır. Kromun farklı bitkilerde toksik etkileri üzerine yapılan çalışmalar, bu ağır metalin kök boyutunda azalmalara, epidermal hücrelerde ve tüylerde bozulmalara neden olduğunu ortaya koymuştur.

Kök büyümesindeki azalmanın, ağır metallere maruz kalan köklerde hücre duvarının kalınlığının artmasına neden olan hücre bölünmesindeki azalmaya bağlı olabileceği de bildirilmiştir.



Cr ile muamele edilmiş bitkilerde, köklerin ekzodermis hücre duvarları boyunca önemli miktarda Cr birikimi görülmüştür. Bu değişiklikler, köklerde bulunan Cr'un yoğun oksidatif etkisine bağlanabilir.

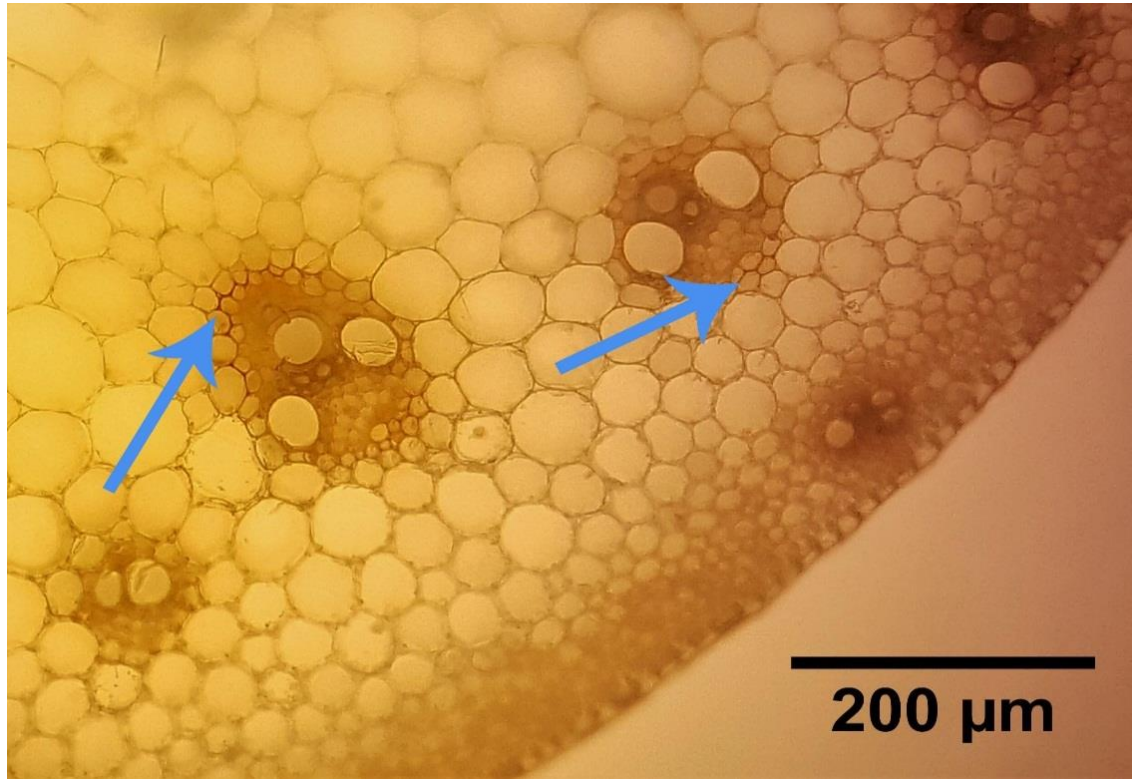


Bazı araştırıcılar, bitkilerin hücre duvarında ağır metal bağlama kapasitesinin, ağır metallerin zararlı etkilerine karşı koruyucu bir etkiye sahip olduğunu öne sürmektedir.

Cr uygulanan gövdedeki anatomik değişikliklerden birisi de, parankima hücrelerinin çapındaki artışıdır. Korteks parankima hücrelerinin boyut ve şeklindeki değişiklikler, ağır metallerin gövdede hormonal dengeyi bozma yeteneği nedeniyle ağır metal müdahalesi olduğunu düşündürmektedir.

Ayrıca gövdede bulunan trakelerin çapındaki azalma, ağır metallere verilen tepkinin bir sonucu olabilir. Ksilem iletim elemanlarının sayısındaki azalma daha önce de değişik araştırmacılar tarafından diğer bitkilerde de rapor edilmiştir.

Bu çalışmada, biriken Cr, vasküler gövde iletim demetleri boyunca renkli birikimler olarak lokalize edilmiştir. Bu birikintilerin olası detoksifikasyon ve adaptasyon mekanizması olduğu önerilmektedir.



Saam ve ark (2013), bazı *Potamogeton* L. bitkilerinde ağır metallere maruz kalmanın yaprak kalınlığında bir azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir. Yaprak kalınlığındaki bu azalma, yapraklardaki Cr birikiminden veya Cr kaynaklı su stresinden veya her ikisinin kombinasyonundan kaynaklanıyor olabilir.

Ayrıca, azalmış ksilem ve floem kalınlığı, Cr'nin translokasyon verimliliğini düşürmesiyle ve bu ağır metallerin fotosentetik dokulara translokasyonunun engellenmesi ile ilişkili olabilir.

Cr ile muamele edilmiş *T. aestivum* bitkilerinin kök, gövde ve yapraklarındaki anatomik değişiklikler ve bitki organlarının hücre boyutlarındaki önemli azalma, stresli koşullar altında büyümeye bağlı olabilir. Sonuç olarak, Cr'ye maruz kalan bitki dokuları, ağır metal stresi altında hayatta kalabilmek için bazı anatomik değişiklikler göstermiştir. Burada açıklanan bitkilerin kök, gövde ve yapraklarında görülen bu anatomik değişiklikler, ağır metallerin sebep olduğu anatomik değişikliklere örnek olarak verilebilir.