



Topraklarda otoyol ve trafik kaynaklı ağır metal kirliliğinin değerlendirilmesi

The examination for pollution of the soils due to highways and traffic

Hakan ÇELEBİ^{1*} , Gülden GÖK² 

^{1,2}Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Aksaray Üniversitesi, Aksaray, Türkiye.
hakancelebi@aksaray.edu.tr, gokgulden@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 29.02.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 12.07.2016

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.55632

Derleme Makalesi/Review Article

Öz

Ülkemizde gelişmekte olan illerde nüfus artışına bağlı olarak araç sayısında ve trafikte yoğunluklar her geçen gün artmaktadır. Bu durum sosyo-ekonomik açıdan gelişme olarak değerlendirilse de çevreye (toprak-su-hava) olumsuz ekolojik etkileri olmaktadır. Otoyollar, şehirlerde yapılan önemli ve bir o kadar da gerekli mühendislik yapılarındandır. Özellikle şehirleri birbirine bağlayarak sosyo-ekonomik ve diğer alanlarda etkili bir konuma sahiptirler. Günümüzde artan otoyol taşımacılığı, hızlı şehirleşme ve artan araç sayısı trafikten kaynaklı ağır metal kirliliğini önemli bir konu haline getirmiştir. Toprakların ağır metaller ile yüksek oranda kirlenmeleri otoyollara yakınlıklarından kaynaklanmaktadır. Bu nedenlerle toprağa ulaşan ağır metallerin topraktan uzaklaştırılmasının zor olması nedeniyle toprak kirliliği önemli bir çevre sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada otoyol kenarlarında yer alan toprakların kirlilik durumu üzerine yapılan çalışmalar, kirleticilerin kaynakları ve dağılımı incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Ağır metaller, Otoyol, Toprak kirliliği

Abstract

In the developing provinces of our country, the traffic jam and the number of vehicles gradually increased over day, which is related to the population growth. This situation could be identified as the socio-economic development. However, it led to negative effects on soil-water-air. Highways are important and necessary engineering structures in the cities, which connect different cities and have an important effect on the socio-economic development and other areas. Today, because of increasing highway transport, the rapid urbanization and higher number of vehicles, heavy metal pollution of traffic become an important issue. For that reason, in these places soil pollution level is an important environmental problem, as it is difficult to remove heavy metals from the soil. Soils are close to the highways, leading to higher level of pollution due to heavy metals. This study examines previous researches on the pollution of lands, sources and distribution of pollutants which are located close to the highways.

Keywords: Heavy metals, Highways, Soil pollution

1 Giriş

Teknolojik ve endüstriyel gelişmenin küresel dünyadaki en önemli olumsuzluklarından biri ekosistemin olumsuz etkilenmesidir. Günümüzde karayolu taşımacılığı hava ve deniz taşımacılığına göre oldukça önemli bir noktadadır. Hem dünyada hem de ülkemizde önemli bir sektör haline gelmiştir. Bu sektörün faaliyetleri sonucunda çevre (toprak-su-hava) ve insan sağlığı olumsuz yönde etkilenmektedir. Özellikle otoyol kenarlarındaki topraklarda tarım ve gıda güvenliği, flora ve fauna dengesi, toprağın fiziksel-kimyasal-biyolojik özellikleri ciddi bir tehlike altındadır [1]-[4]. Trafiğin yoğun olduğu otoyol kenarlarındaki topraklarda birikmenin düzeyi ise trafik yoğunluğuyla artarken otoyoldan uzaklaşmayla azalmaktadır [4]-[6]. Ayrıca bu metaller şu kaynaklardan topraklara ulaşmaktadır: yakıttan gelen, motor yağı, lastik aşınması, fren aşınma ve araç egzoz katalizörleri şeklinde sıralanmaktadır [7]-[13]. Günümüzde ağır metallerden kaynaklı toprak sorunları küresel ölçekte dikkat çeken bir araştırma konusu olmuştur [14].

Topraklardaki ağır metal kirliliği, endüstriyel faaliyetlerin gelişmesiyle, atıksuyla yapılan sulamaların, katı atık depolama alanlarından sızıntıların, gübre ve arıtma çamuru kullanımının artmasıyla önemli bir çevre sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır [15]. Bunların yanı sıra özellikle otoyol kenarlarına yakın toprakların trafik kaynaklı ağır metal düzeyi de önemli bir sorun olarak göze çarpmaktadır. Ağır metallerin toprakta bulunmasının toprak kirliliği, tarımsal üretim ve diğer

özellikleri açısından olumlu ya da olumsuz etkileri vardır. Toprakta bitkilere geçen ağır metaller besin zinciriyle hayvan ve insanlara ulaşabilmektedir. Günümüzde artan otoyol taşımacılığı, hızlı şehirleşme ve artan araç sayısı trafikten kaynaklı ağır metal kirliliğini önemli bir konu haline getirmiştir. Toprakların ağır metaller ile yüksek oranda kirlenmeleri otoyollara yakınlıklarından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada otoyol kenarlarında yer alan toprakların kirlilik durumu üzerine yapılan çalışmalar, kirleticilerin kaynakları ve dağılımı incelenmiştir.

2 Ağır metallerin genel özellikleri

Toprak tanımı yıllardır bilim insanları tarafından çok çeşitli şekillerde ifade edilmiştir. Bu tanımlar doğrultusunda toprak; kayaçların ve organik maddelerin ayrışması sonucu oluşan ürünlerin farklı oranlarda karışarak meydana getirdiği, litosferin üst tabakasını örten gevşek tabaka olarak kabul edilebilir. Toprak mineral parçacıklar, toprak organik maddesi, toprağın canlı kısmı, çözünbilir tuzlar ve iyonları içeren toprak suyu ve toprak havasından oluşmaktadır [16]. Toprak kirliliğinin günümüzde giderek önem kazanması, birçok ülkede karşılaşılan toprak kirliliği vakaları nedeniyle yaygın bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle trafik kaynaklı ağır metallerin yol açtığı toprak kirliliği son yıllarda büyük önem kazanmıştır [17]-[21]. Toprak, hava ve su ortamları birbirine bağlı ve birbirini etkilemenin yanında bir ortamda oluşacak kirlilik diğer ortami da etkilemektedir. Topraklarda ağır metal kirliliği sadece toprak yapısı ve genel özellikleri için değil aynı zamanda diğer ekosistemler ve besin

zinciri yoluyla canlılar için de önemli etkilere sahiptir. Bu bağlamda ağır metallerin genel özelliklerinin iyi bilinmesi ve incelenmesi gerekmektedir. Ağır metaller yerkabuğunda doğal olarak bulunan elementlerdir. Buldukları ortamlarda kolaylıkla bozulmaz ve yok edilemez özelliklere sahiptirler. Ağır metaller 39 element içermektedir ve bunların tamamı toprakta önemli miktarda bulunmazlar [22],[23]. Genelde insanlar tarafından (antropojenik) yapılan aktiviteler açısından düşünüldüğünde önemli olan ağır metaller; kadmiyum (Cd), krom (Cr), bakır (Cu), demir (Fe), kurşun (Pb), civa (Hg), nikel (Ni), gümüş (Ag), kalay (Sn), çinko (Zn) ve arseniktir (As). Ayrıca bunlar makro-besi, mikro-besi, yüksek toksik ve değerli elementler olarak gruplandırılmaktadırlar. "Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirletilmiş Sahalara Dair Yönetmelik'te" Ek-1'de Jenerik Kirletici Sınır Değerler Listesinde ağır metallerin sınır değerleri ifade edilmiştir [24]. Bunlar element veya bileşik formlarda toksik olarak nitelendirilmişlerdir. Özgül ağırlığı 3 mg/cm³ ya da 5 g/cm³'ten fazla olan metaller ağır metal olarak adlandırılır, buna karşın arseniğin özgül ağırlığı bu değerlerden az olmasına rağmen ağır metaller gibi toksik etki gösterdiğinden adı ağır metallerin arasında yer almaktadır [21],[25].

3 Ağır metallerin kaynakları

Topraklardaki ağır metal kirliliği, endüstrinin, otoyolların yaygınlaşması, trafik yoğunluğunun artmasıyla ve atıksuyla yapılan sulama faaliyetlerinin gelişmesiyle küresel bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır [26]. Topraktaki ağır metallerin insanlar tarafından (antropojenik) meydana gelen bazı kaynakları ve toprakta biriken temel ağır metaller Tablo 1'de belirtilmiştir.

Ağır metallerin ekosisteme dağılmasında rol oynayan en önemli endüstriyel faaliyetler ise; madencilik ve maden zenginleştirme faaliyetleri, çimento ve cam üretimi, demir çelik, termik santraller, katı atık yakma tesisleri olarak sıralanmaktadır [28]. Tablo 2'de çeşitli endüstrilerden açığa çıkan bazı ağır metaller kısaca özetlenmiştir. Ağır metallerin ekosisteme dağılımları çok farklı faaliyet alanlarından

(otoyollar, trafikteki araçlar vb.) ve farklı endüstrilerden kaynaklanmakta olup çevreye özellikle toprağa ağır metal bulaşması söz konusudur. Şekil 1'de çevrede (toprak-hava-su) bulunan ağır metallerin farklı kaynakları ve doğaya dağılımları şematik olarak verilmiştir.

Tablo 1: Kirli topraklarda bulunması muhtemel ağır metaller ve antropojenik kaynakları [27].

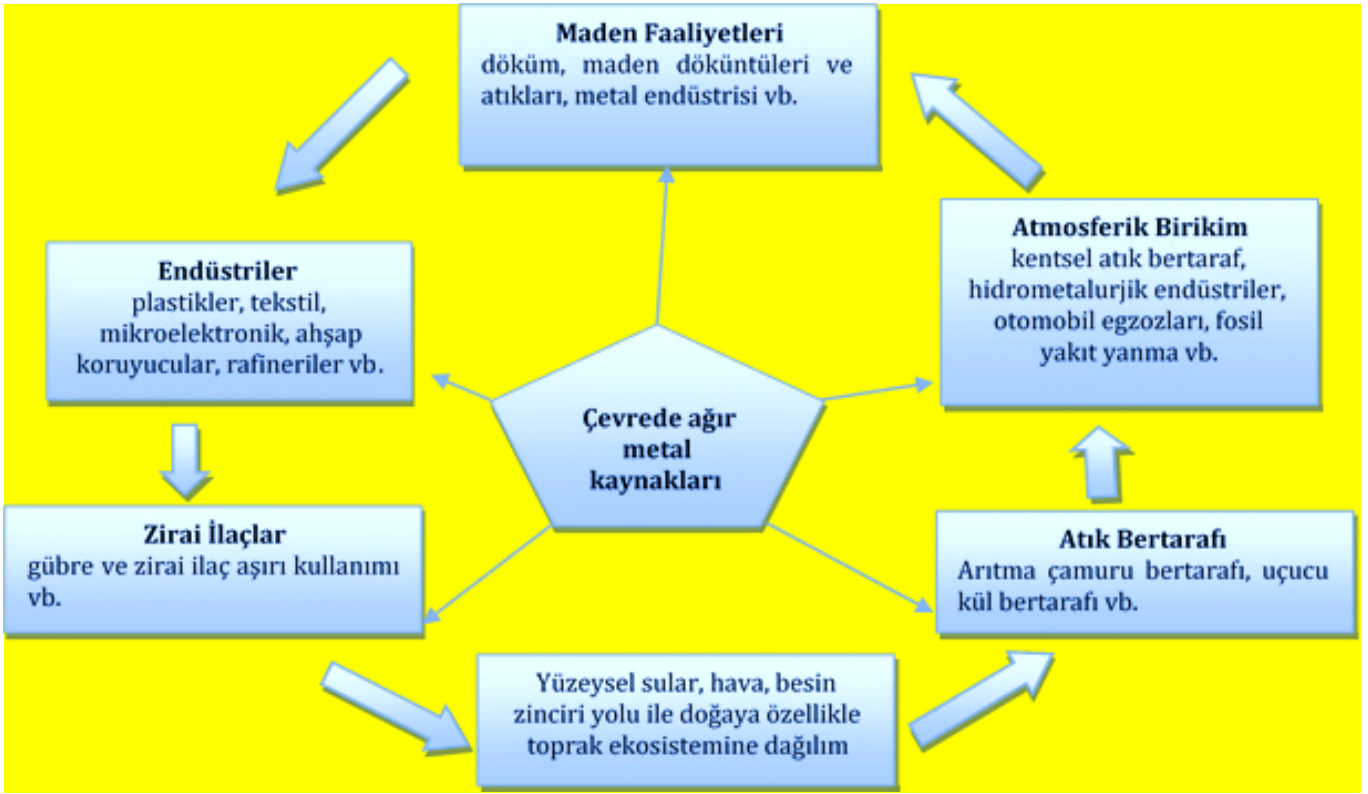
Antropojenik Kaynaklar	Ağır Metal Türleri
<i>Birincil Kaynaklar</i>	
Gübreler (fosfatlı)	Kadmiyum, Kurşun, Arsenik
Kireç	Kurşun, Arsenik
Pestisitler	Kurşun, Arsenik, Civa
Atık çamur	Kadmiyum, Kurşun, Arsenik
Sulama	Kadmiyum, Kurşun, Selenyum
Gübre	Arsenik, Selenyum
<i>İkincil Kaynaklar</i>	
Otomobiller	Kurşun
Maden sahaları	Kadmiyum, Civa, Arsenik
Boya	Kadmiyum, Kurşun
Çöp döküm alanları	Kadmiyum, Kurşun, Arsenik
Fosil yakıtlar	Kurşun, Arsenik, Selenyum
Aerosoller	Kadmiyum, Kurşun, Arsenik

4 Ağır metallerin çevreye ve insan sağlığına etkileri

Tarıma elverişli toprakların ağır metal kirliliği ile azalması ve özelliklerinin bozulması, iklim değişikliği ve diğer kirlilikler güvenilir gıda üretimini de olumsuz yönde etkilemektedir [33],[34]. Ülkelerin artan nüfusları gıdaya olan talebi de arttırmaktadır ancak toprak ekosistemindeki kirlilikler, bilinçsizce kullanımlar (tarıma elverişli toprakların yerleşim yeri, otoyol yapımı vb. faaliyetler) gıda üretimini olumsuz yönde etkilemektedir [35]. Özellikle nüfus yoğunluğu ve teknoloji ekseninde giderek azalan tarım topraklarından daha yüksek verimde ürün alma düşüncesi aşırı miktarda ağır metal içeriğine sahip pestisit, hormon ve gübre kullanımıyla sonuçlanmaktadır [36].

Tablo 2: Çeşitli endüstrilerden açığa çıkan ağır metal türleri [28]-[32].

Endüstriler	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Sn	Zn	As	Be	Co	Fe	Mn	Mo	Sb	Se	Ti	Tl	V
Kâğıt	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Petrokimya	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+
Kimya Sanayi	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-
Gübre Sanayi	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Demir/Çelik	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	-	-
Enerji	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Metal Alışımı	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	-	-
Pil Üretimi	-	-	-	+	+	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-
Tarım	-	-	-	+	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-
Seramik ve Cam Üretimi	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-	+	-
Medikal Cihaz Üretimi	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	+
Kaplama Sanayi	+	+	+	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Elektronik Cihaz Üretimi	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-
Madencilik	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+	+	-
Boya Sanayi	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	-
Makine Sanayi	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Plastik Üretimi	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tekstil	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Otomotiv Sanayi	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Çimento Üretimi	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Deri Sanayi	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Şekil 1: Ağır metallerin kaynakları ve doğaya dağılımları.

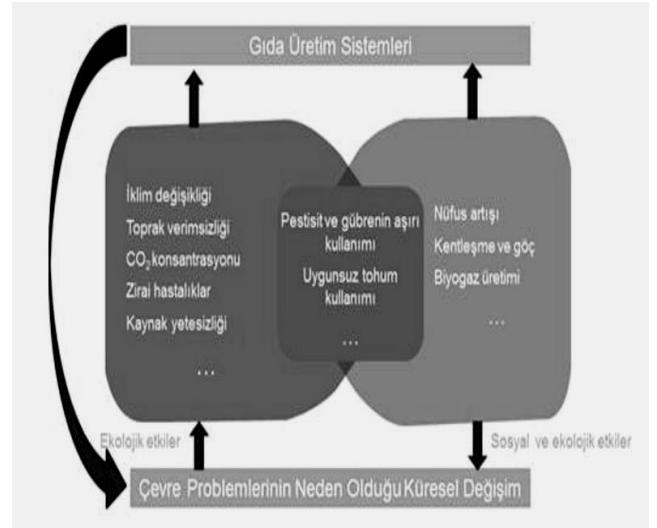
5 Ağır metallerin çevreye ve insan sağlığına etkileri

Tarıma elverişli toprakların ağır metal kirliliği ile azalması ve özelliklerinin bozulması, iklim değişikliği ve diğer kirlilikler güvenilir gıda üretimini de olumsuz yönde etkilemektedir [33],[34]. Ülkelerin artan nüfusları gıdaya olan talebi de arttırmaktadır ancak toprak ekosistemindeki kirlilikler, bilinçsizce kullanımlar (tarıma elverişli toprakların yerleşim yeri, otoyol yapımı vb. faaliyetler) gıda üretimini olumsuz yönde etkilemektedir [35]. Özellikle nüfus yoğunluğu ve teknoloji ekseninde giderek azalan tarım topraklarından daha yüksek verimde ürün alma düşüncesi aşırı miktarda ağır metal içeriğine sahip pestisit, hormon ve gübre kullanımıyla sonuçlanmaktadır [36].

Yapısında ağır metal bulunan gübrelerin sadece belirli bir bölümü amacına uygun kullanılırken, diğer miktarı ise meteorolojik faktörlerle toprağa ve uzak ortamlara ulaşmaktadır. Kirli bir ekosistemde özellikle toprakta bulunan hem bitkisel hem de hayvansal gıdalar ağır metallerle maruz kalmakta ve besin zinciri yoluyla insanlara ulaşmaktadır [33],[34]. Bitkiler açısından ağır metaller, transpirasyon, stoma hareketleri, su alımı, fotosentez, çimlenme, hormonal denge gibi çeşitli yapısal parametrelerin etkilenmesine neden olmaktadır [37].

Topraklarda çok çeşitli konsantrasyonlarda bulunan ağır metaller, hayvanların ve insanların yağ dokularında birikim göstererek toksik miktarlara çıkabilmektedir. Şekil 2 kirlilik ve gıda üretiminin etkileşimini özetlemektedir [34],[36]. Şekilde de görüldüğü gibi bütün çevre sorunları gıda üretimi ile ilişkilidir özellikle topraktaki ağır metal kirliliği gıdanın üretim aşamasından soframıza ulaşıncaya kadar kontaminasyona yol

açmaktadır. Toksikite seviyesi, ağır metale, canlı türüne göre değişebilmekte, olumlu veya olumsuz etkiler yalnızca ağır metale ve miktarına bağlı değil, canlıların genetikleri ile de ilgilidir [38],[39].



Şekil 2: Çevre sorunları ve gıda üretim sistemleri ilişkileri [36].

Tablo 3'te çeşitli ağır metallerin insan sağlığına etkileri ve toksisite düzeyleri açıkça belirtilmiştir. İnsanlar üzerindeki etkiler kısa ve uzun vadede ortaya çıkmakta olup genellikle bütün ağır metal türleri yüksek toksik etkiye sahip olmaktadır [22],[40],[41]. Ağır metaller hem canlılar hem de ekosistem üzerinde birikim yaparak çok çeşitli sorunlara neden olmaktadır. Ağır metaller, insanlar tarafından maruz kalınan miktar, kişinin genetik durumu gibi çeşitli faktörlere bağlı

olarak başta kanser olmak üzere obezite, diyabet, nörolojik sorunlar gibi birçok hastalığın temel nedeni olabilmektedir [42]. Sanayileşme insanların yaşam alanlarındaki toksik ağır metal maruziyetinde artışa neden olmuştur. Ağır metaller çevre şartlarına dayanıklı olduklarından insan ve diğer canlılarda birikmektedirler. Bunu *biyoakümülyasyon*; çevrede bulunan ağır metallerin zaman içinde organizmada birikmesi şeklinde ve *biyomagnifikasyon*; besin zincirindeki küçük canlılardan daha büyük canlılara doğru gittikçe katlanarak birikmesi şeklinde yapmaktadırlar [43].

Tablo 3: Bazı ağır metallerin insan sağlığına etkileri ve toksisite düzeyleri [22].

Ağır metal	Etkileri	Toksisite düzeyi
Pb	Polinöropati, ensefalit, anemi, hipertansiyon, kanser etkisi	Yüksek derece toksik
Hg	Nörolojik bulgular, guatr, taşikardi, düzensiz nabız, unutkanlık, sabırsızlık	Yüksek derece toksik
Cd	Yüksek tansiyon, akciğer kanseri, kemik erimesi, kansızlık	Orta derece toksik
As	Böbrek-karaciğer ve görme bozuklukları, kanser etkisi	Yüksek derece toksik
Li	Nörolojik bulgular, kas zayıflıkları	Hafif derece toksik
Cu	Karın ağrısı, kusma, kansızlık, solunum sıkıntısı	Yüksek derece toksik
Co	Çok nadir görülen etki söz konusudur	Hafif derece toksik
Cr	Deri sorunları, ülser, kanser, solunum sistemi problemleri	Yüksek derece toksik

6 Otoyol kenarı toprakları ve trafik kaynaklı kirleticiler

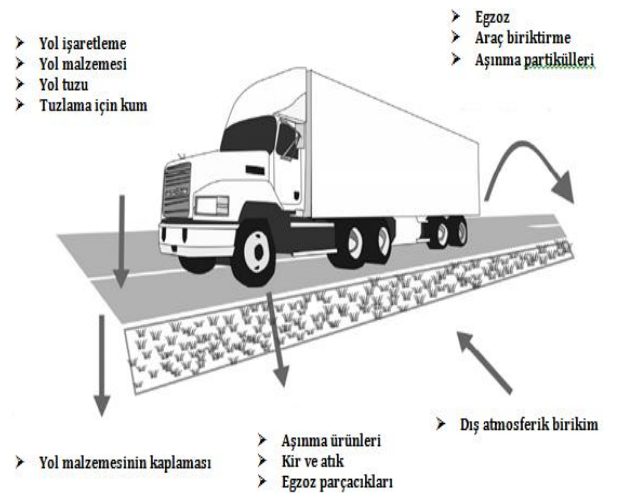
Günümüzde otoyolların yapımı ve bakımı, trafik yoğunluğu ile araç sayısı gibi nedenlerden dolayı çok farklı şekillerde çevre (toprak-su-hava) olumsuz yönde etkilenmektedir. Otoyollar ve trafik faaliyetleri tarafından yayılan çeşitli kirleticilerin kirlilik kaynakları beş ana grupta değerlendirilir: trafik ve kargo, kaldırım ve dolgu malzemeleri, yol ekipmanları, bakım ve işletme ve dış kaynaklar (Şekil 3) [44]. Şekilde de görüldüğü gibi araç geçişleri, trafik yoğunluğu otoyolun yapısını bozabilir ve dolayısıyla da yol kenarına yakın topraklara çeşitli kirleticiler dağılabilir. Özellikle ağırlık açısından yoğun araçların geçtiği otoyollarda hem yolun yapısında bozulmalar hem de yanlış sürüş teknikleri sonucunda kirlilik hem topraklarda hem de havada ve sulara yoğun olarak karışmaya çıkmaktadır. Günümüzde otoyol ve trafik kaynaklı kirleticiler çok çeşitli olmakla birlikte özellikle bu kirleticileri ağır metaller, hidrokarbonlar, besin maddeleri (özellikle azot), tozlar, partiküller ve buz çözücü tuzlar içermektedir.

Tablo 4'te farklı otoyol ve trafik kaynaklı kirleticilerin kaynakları ve türleri kısaca belirtilmiştir. Otoyolların yapımı, kullanımı, bakımı, araç türü, sayısı ve trafik yoğunluğu o bölgede yer alan toprakların fiziksel, biyolojik ve kimyasal özelliklerini değiştirir (Şekil 4).

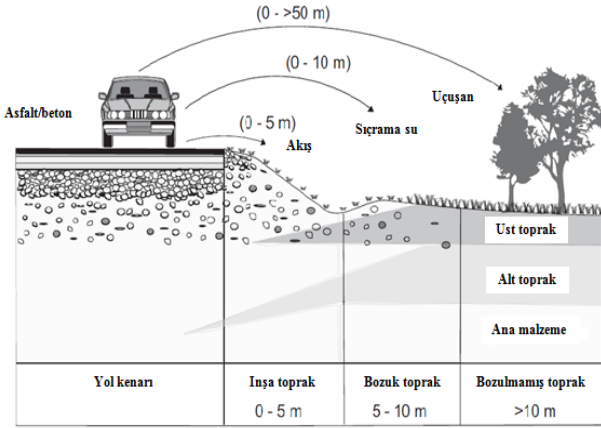
Tablo 4: Farklı otoyol ve trafik kaynaklı kirletici türleri ve kaynakları [44].

Kaynak	Kirletici Tipi	Yaygın ağır metaller							
		Platin grubu	Sodyum	Hidrokarbonlar	Besi maddeleri	Deterjanlar	Organik Madde	Partikül madde	Mikroorganizmalar
Trafik ve kargo	Araç parçaları	+		+		+			
	Lastikler	+		+					
	Fren balataları	+							
	Katalitik dönüştürücü		+						
	Yakıt, yakıt katkıları	+		+		+	+	+	
Kaldırım/ Dolgu malzemesi	Yağlar	+		+					
	Kargo	+	+	+		+	+	+	
	Dökülmeler	+		+		+	+	+	
Yol ekipmanı	Agrega	+							
	Bitüm			+		+	+		
Bakım ve işletme	Alternatif malzemeler	+	+	+		+	+		
	Bariyer/trafik levhaları								+
	Yol işaretleri								+
Dış kaynak	Kış bakımı			+		+	+	+	
	Yaz bakımı			+		+	+	+	
	Boyama	+							+
	Vejetasyon kontrolü			+					+
Dış kaynak	Kar yığınları	+	+	+	+	+	+	+	+
	Çöp	+	+	+	+	+	+	+	+
	Dışkı			+		+	+	+	+
	Uzun menzil hava kirliliği	+	+	+	+	+	+	+	+

"Yaygın ağır metaller": demir, bakır, çinko, kurşun, kadmiyum, krom, nikel, kobalt ve vanadyumu içermektedir. "Platin grubu elementler": paladyum, rodyum, iridyum ve platini içermektedir. "Hidrokarbonlar": poliaromatik hidrokarbonlar (PAH) ve Poliklorlu bifeniller (PCB) içermektedir.



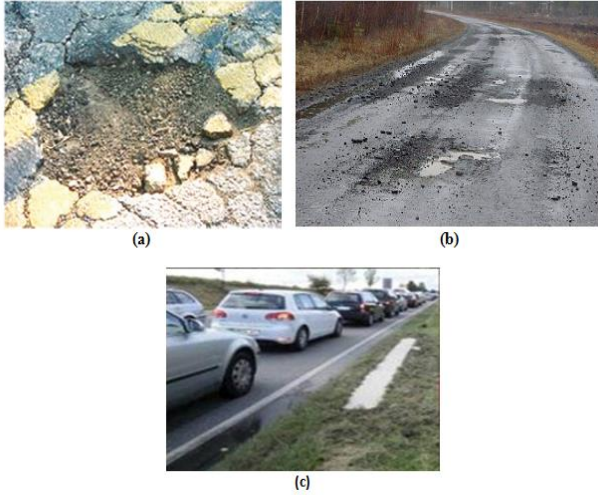
Şekil 3: Otoyol kenarındaki kirleticiler ve kaynakları [44].



Şekil 4: Bir yol kenarında yer alan toprak yapısında olası kirlenme yolları [5].

Otoyoldan araç geçişi sırasında belirli derinliklerden toprak yüzeyine taşlar ve asfalt/beton malzemesi gibi materyaller üst toprağa taşınabilmektedir [45]. Toprak şekilde de görüldüğü gibi dört ana bölgeden oluşmaktadır ve özellikle üst toprak kısmı flora ve faunanın aktif olduğu bölgedir. Şekil 4'te otoyolun yapısı, araç emisyonları ve araç akışına bağlı olarak akış, sıçrayan su ve uçuyan partiküller üst toprakta birikmektedir ve dolayısıyla toprağın en aktif bölgesinde gerçekleşen bu döngü ağır metal kirliliğini yüksek konsantrasyonlara çıkarmaktadır.

Otoyol kenarı topraklarında zaman içerisinde yoğun trafik akışı, meteorolojik koşullardan kaynaklı yol malzemesinin (asfalt/beton) aşınması, araç çeşitleri gibi faktörlerle ağır metal kirliliği gerçekleşmektedir (Şekil 5).



Şekil 5: Yoğun trafikten kaynaklı. (a): Asfalt deformasyonu, (b): Yol malzemesinin sökülmesi ev (c): Araç akışındaki sıkışıklık [43]-[45].

Dünyada ve ülkemizde otoyol ağı sistemi hem çok gelişmiş hem de geniş bir alana yayılmış durumdadır. Aynı zamanda yerleşim alanlarının da otoyolların yakınında yapılması çevresel anlamda kirlenmeyi kaçınılmaz bir hale getirmektedir. Bu bağlamda özellikle ağır metal içeren araç emisyonları otoyol kenarı topraklarının yapısını bozmaktadır. Bu metaller yakıttan gelen, motor yağından, lastik aşınmasından, fren aşınmasından ve taşıt egzoz katalizörlerinden kaynaklanabilmektedir [8]-

[13]. Yerleşim bölgelerinde otoyollara yakın topraklarda genellikle ve sürekli olarak Cd, Cu, Cr, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonları yüksek seviyelerde bulunmuştur. Bu kapsamda dünyada ve ülkemizde bölgesel çalışmalar yapılmış ve ağır metal seviyeleri her bir ağır metal için ayrı ayrı incelenmiştir ve ayrıca spesifik olarak belirli ağır metal türleri için araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar: Türkiye-İstanbul [46], Çin [47],[48], Kore [49], Torino [50], Türkiye-Tekirdağ [51], Türkiye-Sakarya [52], Türkiye-Mardin [53], İran [54], Nijerya [55], Bangalore [56], Nijerya [57], Türkiye-Tekirdağ [58], Çin [59], İran [60], Abeokuta [61], Bangladeş [62], Hindistan [63], Suudi Arabistan [64], Kanada [65], Bangladeş [66], Nijerya [67], Hindistan [68] şeklinde literatürde yerini almıştır. Literatürde bazı çalışmalarda ise yol kenarında bulunan topraklarda trafikten kaynaklı ağır metal konsantrasyonları yol kenarındaki flora ve fauna üzerindeki seviyelerine ve etkilerine göre değerlendirilmiştir [69]-[73]. Bu çalışmalarda önemli olan nokta sadece o bölgede en çok yetiştirilen ya da bulunan flora türleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

Özellikle otoyollara yakın topraklardaki ağır metal içerikleri ile ilgili literatürde ülkemizde çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür. Bu çalışmalar il bazında değerlendirilmiş olup makalemizde anlatılmak istenen konuyu temsil edebilecek bazı çalışmalar açıkça ortaya konmuştur. Sırası ile literatürde yer edinen çalışmaları kısaca özetleyebiliriz; bu çalışma kapsamında, Gümüşhane devlet karayolu boyunca toprak ve akasya dallarındaki Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Rb, Sr, V ve Zn gibi iz element konsantrasyonlarının şehirleşme ve trafiğe bağlı değişimin irdelenmektedir. Elde edilen verilere göre, çalışma alanındaki toprakların iz element birikimine maruz kaldığı ve normal konsantrasyondan bir miktar yüksek seviyede toksik element seviyesine sahip olduğu görülmüştür [74].

Gümüşhane şehir merkezinden geçen karayolu boyunca toprak ile *R. Pseudoacacia*'daki ağır elementlerin konsantrasyonları araştırılmıştır. Bu çalışmanın amacı bölgenin trafik yoğunluğu ve diğer özelliklerinden kaynaklanan ağır metal birikimlerinin tespit edilmesidir. Elde edilen veriler Zn, As ve Pb için çalışma sahasındaki toprakta önemli derecede kirlenmenin olduğunu göstermiştir. *R. pseudoacacia* sürgünlerindeki Cu, Fe, Mo, Ni, Sr ve Zn konsantrasyon seviyesinin normal değerlerin üzerinde ve/veya bu değerleri aşmış olduğu tespit edilmiştir [75].

Edirne ili otoyol kenarı toprağının ağır metal içeriği ile ilgili yapılan çalışmada Temmuz 2006 ve Nisan 2007 yılları arasında toprak örneklerinin Pb, Cu, Ni ve Zn içerikleri değerlendirilmiştir. Çalışmada özellikle üst toprak bölgesinde Pb (0,885-12,38 mg/kg), Cu (6,64-25,81 mg/kg), Ni (53,31-272,1 mg/kg) ve Zn (161,5-485,6 mg/kg) değerleri belirlenmiştir [76].

Bakırdere ve Yaman [77], Elazığ'da otoyola yakın toprak ve bitkilerde Pb, Cd ve Cu içeriklerini değerlendirmişlerdir. Diğer çalışmalarda olduğu gibi bu çalışmada da incelenen ağır metal konsantrasyonları trafik yoğunluğu ile paralel bir şekilde artış göstermiştir.

Ekmeçyapar ve diğ. [78], Çorlu-Çerkezköy karayolu çevresinden 36 adet toprak ve bitki örnekleri toplayarak ağır metal içerikleri bakımından analiz etmişlerdir. Sonuçlar çalışma alanındaki toprakların Pb ile kirlenmiş olduğunu göstermiştir. Toprakta Pb konsantrasyonu 351±0,3 mg/kg seviyesinde olup bu değer toprakta izin verilen maksimum limitlerin üstünde bulunmuştur. Yalçın ve diğ. [79], D805-D750 ve TEM otoyolları boyunca topraklarda ağır metal kirlilik

düzeylerini incelemişlerdir. Fe, Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, Co, Mn, Ti, Sn, Mo ve As konsantrasyonlarına bakılmış ve sonuç olarak tüm ağır metal konsantrasyonlarının toksik etki düzeyinde olduğu tespit edilmiştir.

Yalçın ve diğ. [80], Kayseri’de Sultan sazlığı ve civarındaki ağır metal kaynakları adlı çalışmalarında 176 örneklem ile üst toprakta ağır metal (Fe, Pb, Zn, Sb, W, Mo, Co, Cu, Hg, Ni, Cr, Mn ve Cd) konsantrasyonlarına bakmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek konsantrasyon seviyesinin trafik yollarından kaynaklandığı ortaya konmuştur.

Malkoç ve diğ. [81]’e göre Eskişehir ili otoyol kenarı topraklarında ağır metal kirliliğinin düzeyleri değerlendirilmiş olup sonuç olarak topraklarda ağır metal içerikleri $Pb>Zn>Cu>Fe>Mn>Ni>Cr>Cd$ şeklinde belirlenmiştir. Bu araştırmada, Konya şehir merkezinde trafiğin yoğun olduğu 8 farklı alandan toprak numuneleri alınarak 2003-2004 yıllarını kapsayan ağır metal kirlilik seviyeleri belirlenmeye çalışılmıştır. Her iki yılda trafiğin yoğun olmasından dolayı ağır metal içerikleri toprak numunelerinde yüksek çıkmıştır. Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde belirlenen sınır değerler bu çalışmada aşılmıştır [82].

Ezer [83], Kahramanmaraş ilinde otoyola yakın farklı bölgelerden üst toprak örnekleri toplayarak Fe, Pb, Zn, Cu, Ni ve Cd düzeylerine bakmıştır. Özellikle otoyoldaki trafik yoğunluğu ve araç sayısı göz önünde bulundurularak örneklemeler yapılmıştır. Bu toprak örneklerinde ortalama ağır metal konsantrasyonları yüksek bulunmuş olup sonuçlar diğer araştırmacıların çalışmaları ile karşılaştırılmıştır.

Dünyada çeşitli ülke ve şehirlerde yapılan çalışmalar incelendiğinde ise literatürde oldukça fazla sayıda araştırmacı tarafından bu konu araştırılmıştır. Bu kapsamda; Zhang ve diğ. [84], tarafından Nepal’in Katmandu bölgesinde yapılan çalışmada dağlık alanlardaki otoyola yakın çiftlik topraklarında ağır metal konsantrasyonlarının trafik faaliyetleri ile değişimi incelenmiştir. Üst toprakta Cu (19.99±6.91 mg/kg), Zn (76.3±52.54 mg/kg), Cd (0.36±0.46 mg/kg) ve Pb (22.57±23.81 mg/kg) olarak tespit edilmiştir. Elde edilen konsantrasyonlar uluslararası standartların üzerinde bulunmuştur.

Bu çalışma trafik yoğunluğuna bağlı olarak ağır metallerin konsantrasyonlarını belirlemek amacı ile Nijerya’nın Calabar şehri yol kenarında yer alan topraklarda yapılmıştır. İstatistiksel değerlendirmeler doğrultusunda Pb, Ni, Cd, Zn, Cr, Al, Ti, V gibi ağır metallerin toprakta olması gereken konsantrasyonların üzerinde olduğu tespit edilmiştir [85].

Fan [86], yapmış olduğu çalışmada Çin’de yer alan Xi’an-Baoji şehrinde otoyola yakın toprakların özellikle üst kısmında (0-20 cm derinlikte) Pb, Zn, Cu ve Cr seviyelerini incelemiştir. Sonuç olarak üst toprak bölgesinde Pb, Zn, Cu ve Cr konsantrasyonlarının yüksek olduğunu belirlemiştir. Otoyol kenarında bulunan toprak örnekleri Mubi-Michika boyunca 10 kasabandan toplanmıştır. Özellikle Pb, Cu, Cr, Fe ve Cd analizleri yapılmış olup FAO/WHO standartlarında yer alan sınır değerler doğrultusunda Pb konsantrasyonu yüksek bulunmuştur. Bu durumun ise 10 kasabanın da otoyola yakınlığı, araç yoğunluğu ile emisyonlardan kaynaklandığını göstermiştir [87].

Carrero ve diğ. [88]’e göre 8 örnekleme alanından 46 element türünün kantitatif analizleri gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanında Cd, Cr, Cu, Hf, Mo, Nb, Ni, Pb, Sb, Sn, Sr, Zn ve Zr konsantrasyonlarının trafik yoğunluğu ile ilgili olduğu tespit edilmiştir. İslam ve diğ. [89] rafından yapılan bir çalışmada Bangladeş’te Dinajpur-Ragpup otoyolu çevresinde yer alan

toprak ve sebzelerde (lahana, havuç, patates, turp, ıspanak, domates) ağır metal içerikleri incelenmiştir. Deneyler sonucunda toprak ve sebze türlerinde ağır metal konsantrasyonlarının sırası ile $Ni>Pb>Cr>Cd$ şeklinde bir değişim gösterdiği gözlenmiştir. Değerlendirilen bu çalışmaların dışında dünyanın ve ülkemizin farklı bölgelerinde de otoyollara yakın topraklarda ağır metal konsantrasyonları incelenmiş olup tabloda en çok tespit edilen ağır metal türleri ve maksimum değerleri Tablo 5’te verilmiştir.

7 Sonuçlar

Otoyollar, trafik, araç yoğunluğu dünyada ve ülkemizde birçok bölgede en ciddi çevre sorunları ve kentsel toprakların kirlenmesinin ana kaynaklarından biri haline gelmiştir. Toprak kirliliğinin oluşması aslında istenmeyen bir durumdur ve bu kirlilik geri dönüşü zor ve ekonomik maliyetinden dolayı kirlilik oluşmadan ve sınır değerler aşılmadan önlemlerin alınması gerekmektedir. Özetle, küresel ölçekte birçok araştırmacının yapmış olduğu çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve literatür incelemeleri trafiğin yoğun olduğu otoyol kenarındaki topraklarda ağır metallerin biriminin ulusal ve uluslararası standartlarda (Toprak kirliliği kontrol yönetmeliği, FAO/WHO gibi) belirtilen sınır değerlere göre yüksek konsantrasyonlarda olduğunu göstermiştir.

8 Teşekkür

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisine katkı sağlayan tüm yazar ve hakemlere teşekkür ederiz.

9 Kaynaklar

- [1] Chaney RL, Ryan JA, Li YM, Brown SL. *Cadmium in Soils and Plants*. Mc Laughlin MJ, Singh BR. Soil Cadmium as a Threat to Human Health. In: Cadmium in Soils, Plants and the Food Chain, 219-256, Springer, Kluwer, 1998.
- [2] Mor F, Ceylan S. “Cadmium and lead contamination in vegetables collected from industrial, traffic and rural areas in Bursa Province, Turkey”. *Food Additives and Contaminants*, 25(5), 611-615, 2008.
- [3] Skrbic B, Cupic S. “Toxic and essential elements in soft wheat grain cultivated in Serbia”. *European Food Research and Technology*, 221(3-4), 361-366, 2005.
- [4] Ertugay MF, Başlar M, Sallan S. “Beyşehir-Isparta karayolu kenarında yetiştirilen buğdaylarda kurşun (Pb) ve kadmiyum (Cd) kirlilik düzeylerinin belirlenmesi”. *Dünya Gıda Dergisi*, 1, 84-88, 2012.
- [5] Werkenthin M, Kluge B, Wessolek G. “Metals in European roadside soils and soil solution-a review”. *Environmental Pollution*, 189, 98-110, 2014.
- [6] Morse N, Walter MT, Osmond D, Hunt W. “Roadside soils show low plant available zinc and copper concentrations”. *Environmental Pollution*, 209, 30-37, 2016.
- [7] Silva SD, Ball AS, Huynh T, Reichman SM. “Metal accumulation in roadside soil in Melbourne, Australia: effect of road age, traffic density and vehicular speed”. *Environmental Pollution*, 208, 102-109, 2016.
- [8] Hjortenkrans DST, Bergbaack BG, Haggerud AV. “Metal emissions from brake linings and tires: case studies of Stockholm, Sweden 1995/1998 and 2005”. *Environmental Science and Technology*, 41, 5224-5230, 2007.
- [9] Ravindra J, Bencs L, Van Grieken R. “Platinum group elements in the environment and their health risks”. *Science of the Total Environment*, 318(1-3), 1-43, 2004.

Tablo 5: Dünyada ve ülkemizde otoyol kenarı topraklarında bulunan ağır metallerin içeriklerinin literatür karşılaştırması.

Şehir/Ülke	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Literatür
Jos, Nijerya	12	15	2,5	5,8	10	160	-	-	[55]
Wukari, Nijerya	247	61.2	163	-	5.3	-	-	-	[67]
Ogbomoso, Nijerya	6.93	-	4,07	-	7,89	-	0,23	-	[57]
Çerkezköy, Türkiye	6.54	-	-	-	-	-	-	-	[51]
Dubai, Birleşik Arap Emirlikleri	2784.45	65.90	166.43	98.13	1.01	5136.37	-	166.43	[25]
Abeokuta, Nijerya	8.54	2.57	25.21	1.69	-	-	-	654	[61]
Kızıltepe, Mardin	2.24	-	-	42	0.40	-	28	-	[53]
Beijing, Çin	35.4	29.7	92.1	-	0.215	-	61.9	-	[47]
Sakarya, Türkiye	350	-	-	-	-	-	-	-	[52]
İran	75	-	-	-	-	-	-	-	[60]
Çin	4	12	110	-	0.12	-	15	-	[72]
Jeddah, Suudi Arabistan	104.86	-	239.84	98.23	-	-	93.8	-	[64]
Hindistan	346.41	319.28	284.91	-	1.06	-	15.41	401.33	[68]
Kuzey Karolina, ABD	-	63.2	122.3	-	-	-	-	-	[93]
Gazipur, Bangladeş	4.76	-	-	49	0.20	-	-	-	[62]
Toronto, Kanada	378.7	392.1	1367.8	327	0.95	70050	558	3125	[65]
Shanxi, Çin	30	71	32	23	14	-	0.20	-	[14]
Melbourne, Avustralya	144	12	88.75	20	0.59	-	29	599	[7]
Bangalore, Hindistan	-	-	248	-	-	36078	-	488	[56]
Texas, Cincinnati, Ohio	701	58	496	56	-	-	-	-	[90]
Maiduguri, Nijerya	0,11	2,51	3.68	-	-	-	-	13.83	[26]
Bortala, Çin	373.61	87.33	-	49.55	0.78	2281.16	215.64	-	[59]
Polonya, Almanya, Tacikistan	55	29.5	84	-	-	20150	-	337.5	[63]
Hindistan, Polonya	250	210	870	62	14.8	6295	15	1100	[91]
Tibet, Hindistan	51.67	34.18	364.15	33.68	-	-	289.70	-	[92]
Çorlu, Türkiye	135	39	59	46	-	8541	142	424	[78]
Calabar, Nijerya	43.5	81.7	670.2	44.6	-	-	293.5	178.3	[85]
Mungia-Bilbao, İspanya	600	10	200	50	2	-	-	-	[88]
Rangpur-Dinajpur, Bangladeş	2.75	-	-	38.98	0.95	-	2.25	-	[89]
Edirne, Türkiye	12.38	25.81	485.60	272.10	-	-	-	-	[76]
Elazığ, Türkiye	45	27.90	-	-	52.70	-	-	-	[77]
Eskişehir, Türkiye	101.12	120.93	136.68	297.52	3.39	19149	226.04	561.38	[81]
Gümüşhane, Türkiye	747	37	477	9.85	-	-	11.73	-	[74]
Gümüşhane, Türkiye	124.36	25	139.73	16.36	-	-	27.45	-	[75]
Nepal	210	45.8	436	-	1.44	-	-	-	[84]
Kayseri, Türkiye	17.9	15.8	56.3	23.7	-	22830	23.5	494	[80]

- [10] Whiteley JD, Murray F. "Anthropogenic platinum group element (Pt, Pd and Rh) concentrations in road dusts and roadside soils from Perth, Western Australia". *Science of the Total Environment*, 317, 121-135, 2003.
- [11] Wichmann H, Anquandah GAK, Schmidt C, Zachmann D, Bahadır MA. "Increase of platinum group element concentrations in soils and airborne dust in an urban area in Germany". *Science of the Total Environment*, 388, 121-127, 2007.
- [12] Hjortenkrans DST, Bergback B, Haggerud A. "New metal emission patterns in road traffic environments". *Environmental Monitoring and Assessment*, 117, 85-98, 2006.
- [13] Zereini F, Alt F. *Palladium Emissions in the Environment: Analytical Methods, Environmental Assessment and Health Effects*. 1st ed. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 2006.
- [14] Pan L, Ma J, Wang X, Hou H. "Heavy metals in soils from a typical county in Shanxi Province, China, levels, sources and spatial distribution". *Chemosphere*, 148, 248-254, 2016.
- [15] Kocaer F, Başkaya HS. "Metallerle kirlenmiş toprakların temizlenmesinde uygulanan teknolojiler". *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 8(1), 121-131, 2003.
- [16] Aydın M, Kılıç Ş. *Toprak Bilimi*. 2. Baskı, Ankara, Türkiye, Nobel, 2010.
- [17] Varol M. "Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris river (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques". *Journal of Hazardous Materials*, 195, 355-364, 2011.
- [18] Gao C, Lin Q, Bao K, Zhao H, Zhang Z, Xing W, Wang G. "Historical variation and recent ecological risk of heavy metals in wetland sediments along Wusuli river, Northeast China". *Environmental Earth Sciences*, 72(11), 4345-4355, 2014.
- [19] Zhang ZY, Abuduwaili J, Jiang FQ, Tud M, Wang SP. "Contents and sources of heavy metals in surface water in the Tianshan mountain". *China Environmental Science (In Chinese)*, 32(10), 1799-1806, 2012.
- [20] Zhang ZY, Abuduwaili J, Jiang FQ. "Heavy metal contamination, sources and pollution assessment of surface water in the Tianshan mountains of China". *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(2), 1-13, 2015a.
- [21] Zhang ZY, Abuduwaili J, Jiang FQ. "Sources, pollution status and potential ecological risk of heavy metals in surface sediments of Aibi lake, Northwest China". *Huanjing Kexue/Environmental Science*, 36(2), 490-496, 2015b.
- [22] Aksoy Ö. Sulu Çözeltiden Bazı Boyarmaddelerin ve Bakır Metalinin Uzaklaştırılmasında Yeni Bir Adsorptör Olarak Nar Posasının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Diyarbakır, Türkiye, 2012.
- [23] Kahvecioğlu Ö, Kartal G, Güven A, Timur S. "Metallerin çevresel etkileri-I". *Metallurji Dergisi*, 136, 47-53, 2004.
- [24] Çevre ve Orman Bakanlığı. "Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik". Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 27605, 2010.
- [25] Aslam J, Khan SA, Khan SH. "Heavy metals contamination in roadside soil near different traffic signals in Dubai, United Arab Emirates". *Journal of Saudi Chemical Society*, 17, 315-319, 2013.
- [26] Uwah EI, John KO. "Heavy metal levels in roadside soils of some major roads in Maiduguri, Nigeria". *IOSR Journal of Applied Chemistry*, 6(6), 74-78, 2014.
- [27] Zincircioğlu N. "Manisa-Akhisar yöresinde bulunan kimya tarım arazilerinin ağır metal içeriklerinin araştırılması". *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 50(3), 333-339, 2013.
- [28] Kahvecioğlu Ö, Kartal G, Güven A, Timur S. "Metallerin çevresel etkileri-I". <http://www.metalurji.org.tr/dergi> (02.12.2018).
- [29] Bakar C, Baba A. "Metaller ve insan sağlığı: Yirminci yüzyıldan bugüne ve geleceğe miras kalan çevre sağlığı sorunu". 1. *Tıbbi Jeoloji Çalıştayı*, Nevşehir, Türkiye, 30 Ekim-1 Kasım 2009.
- [30] Filiz E. Doğal Kaynaklardan Elde Edilen Adsorbanlarla Sulardan Ağır Metal Giderimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [31] San NO. Ağır Metal ve Boyar Madde İçeren Atıksuların *Rhodotorula sp.* ile Arıtımı. Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Türkiye, 2007.
- [32] Siegel FR. *Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals*. Berlin, Germany, Springer, 2002.
- [33] Clay J. "Freeze the footprint of food". *Nature*, 475(7356), 287-289, 2011.
- [34] Yu Q, Wu W, Yang P, Li Z, Xiong W, Tang H. "Proposing an Interdisciplinary and Cross-scale Framework for Global Change and Food Security Researches". *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 156, 57-71, 2012.
- [35] İkincikarakaya SÜ, Beyaz KB, Rezaei F. "Doğal kaynaklar ve tarım". *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 6(1), 104-109, 2013.
- [36] Aydın ME, Bedük F. "Çevre ve sağlıklı beslenme ilişkisi". *Uluslararası 2. Helal ve Sağlıklı Gıda Kongresi*, Konya, Türkiye, 7-10 Kasım 2013.
- [37] Kılıç M, Ay G, Koçbaşı F, Mungan F, Kula İ, Karabaş M. "Ayvalık tuzlasında yayılış gösteren *Suaeda Prostrata* Subsp. *Prostrata* Pall. alttürünün ağır metal birikimi". *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(4), 9-18, 2014.
- [38] Karadağ F. Farklı Dozlarda Selenyum Uygulamalarının Haşhaş (*Papaver somniferum L.*) Yapraklarında Antioksidan Enzimler Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, Türkiye, 2013.
- [39] Haktanır K, Arcak S, Erpul G, Tan A. "Yol kenarındaki topraklarda trafikten kaynaklanan ağır metallerin birikimi". *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 19, 423-431, 1995.
- [40] Guo P, Gong Y, Wang C, Liu X, Liu J. "Arsenic speciation and effect of arsenate inhibition in a *Microcystis aeruginosa* culture medium under different phosphate regimes". *Environmental Toxicology and Chemistry*, 30, 1754-1759, 2011.
- [41] Debelius B, Forja JM, Lubián LM. "Toxicity of copper, nickel and zinc to *Synechococcus* populations from the strait of Gibraltar". *Journal of Marine Systems*, 88, 113-119, 2011.
- [42] Özkan E, Taşlıgımar MY, Yeşilkaya Ş. "Ağır Metal Zehirlenmeleri". <http://www.jcam.com.tr/files/KATD-1599.pdf> (02.12.2018).
- [43] Folkens L, Bækken T, Brencic M, Dawson A, Francois D, Kurimska P, Leitao T, Licbinsky R, Vojtesek M. *Sources and Fate of Water Contaminants in Roads*. Editors: Dawson A. Water in Road Structures, 107-146, Netherlands, Springer Press, 2009.

- [44] Dawson A. *Water in Road Structures*. 1st ed. Netherlands, Springer, 2009.
- [45] Wawer M, Magiera T, Ojha G, Appel E, Kusza G, Hu S, Basavaiah N. "Traffic-Related pollutants in roadside soils of different countries in Europe and Asia". *Water Air Soil Pollution*, 226(216), 1-14, 2015.
- [46] Sezgin N, Ozcan HK, Demir G, Nemlioglu S, Bayat C. "Determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway". *Environmental International*, 29, 979-985, 2003.
- [47] Chen X, Xia X, Zhao Y, Zhang P. "Heavy metal concentrations in roadside soils and correlation with urban traffic in Beijing, China". *Journal of Hazardous Materials*, 181, 640-646, 2010.
- [48] Lu SG, Bai SQ. "Contamination and potential mobility assessment of heavy metals in urban soils of Hangzhou, China: Relationship with different land uses". *Environmental Earth Sciences*, 60, 1481-1490, 2010.
- [49] Duong TTT, Lee BK. "Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics". *Journal of Environmental Management*, 92, 554-562, 2011.
- [50] Biasioli M, Barberis R, Ajmone-Marsan F. "The influence of a large city on some soil properties and metals content". *Science of the Total Environment*, 356, 154-164, 2006.
- [51] Adiloglu S, Saglam MT. "Determination of lead metal pollution along the Trans-European motorway agricultural soils by ICP-OE spectrometers". *14th International Conference on Environmental Science and Technology*, Rhodes, Greece, 3-5 September 2015.
- [52] Çelenk F, Kızıloğlu FT. "Distribution of Lead accumulation in roadside soils: a case study from D 100 highway in Sakarya, Turkey". *International Journal of Research in Agriculture and Forestry*, 2(5), 1-10, 2015.
- [53] Bilge U, Çimrin KM. "Viranşehir-Kızıltepe karayolu kenarındaki topraklarda motorlu taşıtlardan kaynaklanan ağır metal kirliliği". *Tarım Bilimleri Dergisi*, 19, 323-329, 2013.
- [54] Saeedi M, Hosseinzadeh M, Jamshidi A, Pajooheshfar SP. "Assessment of heavy metals contamination and leaching characteristics in highway side soils, Iran". *Environmental Monitoring and Assessment*, 151, 231-241, 2009.
- [55] Abechi ES, Okunola OJ, Zubairu SMJ, Usman AA, Apene E. "Evaluation of heavy metals in roadside soils of major streets in Jos Metropolis, Nigeria". *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 2(6), 98-102, 2010.
- [56] Sripathy L, Rao P, Ajay Kumar NM, Yashwanth S, Jagadisha, Divya N, Sharada KR. "Heavy metal contamination of soil due to vehicular traffic: a case study across nelamangaladabaspert segment of national highway no. 4". *Rasayan Journal of Chemistry*, 8(2), 232-236, 2015.
- [57] Adelasoye KA, Alamu LO. "Accumulation of heavy metal pollutants in soil and vegetation and their effects on soil microbial population on roadsides in Ogbomoso, Nigeria". *Journal of Environmental Science and Water Resources*, 5(1), 1-7, 2016.
- [58] Adiloğlu S, Sağlam MT. "Karayolu kenarlarındaki tarım arazilerindeki topraklarda ekstrakte edilebilir kobalt (Co) içerikleri". *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 15, 24-29, 2015.
- [59] Zhang Z, Juying L, Mamat Z, QingFu Y. "Sources identification and pollution evaluation of heavy metals in the surface sediments of Bortala river, Northwest China". *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 126, 94-101, 2016.
- [60] Enayatzamir Kh, Amini M, Savaghebi Gh, Abbaspour KC. "Quantifying the effect of traffic on lead accumulation in soil: a case study in Iran". *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 6(1), 11-17, 2008.
- [61] Azeez JO, Mesele SA, Sarumi BO, Ogundele JA, Uponi AO, Hassan AO. "Soil metal pollution as a function of traffic density and distance from road in emerging cities: a case study of Abeokuta, Southwestern Nigeria". *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(2), 275-295, 2014.
- [62] Naser HM, Sultana S, Gomes R, Noor S. "Heavy metal pollution of soil and vegetable grown near roadside at Gazipur". *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 37(1), 9-17, 2012.
- [63] Wawer M, Magiera T, Ojha G, Appel E, Bucko MS, Kusza G. "Characteristics of current roadside pollution using test-monitoring plots". *Science of the Total Environment*, 505, 795-804, 2015.
- [64] Kadi MW. "Soil pollution hazardous to environment: a case study on the chemical composition and correlation to automobile traffic of the roadside soil of Jeddah city, Saudi Arabia". *Journal of Hazardous Materials*, 168, 1280-1283, 2009.
- [65] Nazzal Y, Ghrefat H, Rosen MA. "Heavy metal contamination of roadside dusts: a case study for selected highways of the greater Toronto area, Canada involving multivariate geostatistics". *Research Journal of Environmental Sciences*, 8(5), 259-273, 2014.
- [66] Bhowmick AC, Khan MdMR, Moim MI, Bhoumik NC, Saifullah ASM. "Comparative study of heavy lead pollution in roadside soil and plants by railway and highway at Tangail district in Bangladesh". *Universal Journal of Applied Science*, 3 (3), 21-25, 2015.
- [67] Achadu OJ, Goler EE, Ayejuyo OO, Olaeye OO, Ochimana OI. "Assessment of heavy metals (Pb, Cd, Zn and Cu) concentrations in soils along a major highway in Wukari, North-Eastern Nigeria". *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 6(2), 1-7, 2015.
- [68] Khan AB, Kathi S. "Evaluation of heavy metal and total petroleum hydrocarbon contamination of roadside surface soil". *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11, 2259-2270, 2014.
- [69] Sharma RK, Agrawal M, Marshall FM. "Heavy Metal (Cu, Zn, Cd and Pb) contamination of vegetables in urban India: A case study in Varanasi". *Environmental Pollution*, 154, 254-263, 2008.
- [70] Hamurcu M, Ozcan MM, Dursun N, Gezgin S. "Mineral and heavy metal levels of some fruits grown at the roadsides". *Food and Chemical Toxicology*, 48, 1767-1770, 2010.
- [71] Yücel E, Edirnelioğlu E, Yücel M. "Orta-Batı Anadolu geçiş bölgesindeki ormanlarda trafik kaynaklı kadmiyum (Cd+2) kirliliğinin belirlenmesi". *Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi*, 2014(1), 48-68, 2014.
- [72] Feng J, Wang Y, Zhao J, Zhu L, Bian X, Zhang W. "Source attributions of heavy metals in rice plant along highway in Eastern China". *Journal of Environmental Sciences*, 23(7), 1158-1164, 2011.

- [73] Usman A, Gaya UI. "Contamination of roadside soil and bush mint (*hyptis suaveolens*) with trace metals along major roads of Abuja". *Environment and Pollution*, 2(4), 44-56, 2013.
- [74] Vural A, Şahin E. "Gümüşhane ili şehir merkezinden geçen devlet karayolundaki akasyalarda ve toprakta trafiğe bağlı iz element". 65. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Türkiye, 2-6 Nisan/April 2012.
- [75] Vural A. "Assessment of heavy metal accumulation in the roadside soil and plants of *Robinia pseudoacacia*, in Gumushane, Northeastern Turkey". *Ekoloji*, 22(89), 1-10, 2013.
- [76] Kalebaşı Aktaş Y, Kocabaş A. "Heavy metal content of roadside soil in Edirne, Turkey". *Analytical Letters*, 43, 1869-1878, 2010.
- [77] Bakirdere S, Yaman M. "Determination of lead, cadmium and copper in roadside soil and plants in Elazığ, Turkey". *Environmental Monitoring and Assessment*, 136, 401-410, 2008.
- [78] Ekmekyapar F, Şabudak T, Şeren G. "Assessment of heavy metal contamination in soil and wheat (*Triticum Aestivum* L.) plant around the Çorlu-Çerkezköy highway in thrace region". *Global NEST Journal*, 14(4), 496-504, 2012.
- [79] Yalcın MG, Battaloglu R, İlhan S, Tümüklü A, Topuz D. "Heavy metal contamination along the Nigde-Adana Highway, Turkey". *Asian Journal of Chemistry*, 19(2), 1506-1518, 2007.
- [80] Yalcın MG, Battaloglu R, İlhan S. "Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey". *Environmental Geology*, 53, 399-415, 2007.
- [81] Malkoc S, Yazıcı B, Koparal AS. "Assessment of the levels of heavy metal pollution in roadside soils of Eskişehir, Turkey". *Environmental Toxicology and Chemistry*, 29(12), 2720-2725, 2010.
- [82] Onder S, Dursun S, Gezgin S, Demirbas A. "Determination of heavy metal pollution in grass and soil of city centre green areas (Konya, Turkey)". *Polish Journal of Environmental Studies*, 16(1), 145-154, 2007.
- [83] Ezer M. "Heavy metal content of roadside soil in Kahramanmaraş, Turkey". *Fresenius Environmental Bulletin*, 18(5a), 704-708, 2009.
- [84] Zhang F, Yan X, Zeng C, Zhang M, Shrestha S, Deukota LP, Yao T. "Influence of traffic activity on heavy metal concentrations of roadside farmland soil in mountainous areas". *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9, 1715-1731, 2012.
- [85] Akpan IO, William ES. "Assessment of elemental concentrations of roadside soils in relation to traffic density in Calabar, Nigeria". *International Journal of Scientific & Technology Research*, 3(9), 1-8, 2014.
- [86] Fan S. "Assessment of spatial distribution and pollution with heavy metals in roadside soils along Xi'an-Baoji highway in Northwest China". *Environmental Engineering and Management Journal*, 13(12), 3161-3171, 2014.
- [87] Alexander P. "Assessment of heavy metals in roadside surface soil and vegetation along Mubi-Michika major road in Adamawa state, Nigeria". *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 3(3), 545-551, 2015.
- [88] Carrero JA, Arrizabalaga I, Bustamente J, Goienega N, Arana G, Madariaga JM. "Diagnosing the traffic impact on roadside soils through a multianalytical data analysis of the concentration profiles of traffic-related elements". *Science of the Total Environment*, 458-460, 427-434, 2013.
- [89] Islam MJ, Rahman MdS, Al Mamun MdA, Farhana F, Shamsuzzoha Md, Rahman MdH, Aktar M, Ab u Hanif Md. "Assessment of heavy metals in roadside soil, water and vegetables of the Dinajpur-Rangpur highway in Bangladesh". *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences*, 6(2), 255-265, 2016.
- [90] Turer DG, Maynard JB. "Eavy metal contamination in highway soils. Comparison of Corpus Christi, Texas and Cincinnati, Ohio shows organic matter is key to mobility". *Clean Technologies and Environmental Policy*, 4, 235-245, 2003.
- [91] Wawer M, Magiera T, Ojha G, Appel E, Kusza G, Hu S, Basavaiah N. "Traffic-related pollutants in roadside soils of different countries in Europe and Asia". *Water, Air & Soil Pollution*, 226(216), 1-14, 2015.
- [92] Zhang H, Wang Z, Zhang Y, Ding M, Li L. "Identification of traffic-related metals and the effects of different environments on their enrichment in roadside soils along the Qinghai-Tibet highway". *Science of the Total Environment*, 521-522, 160-172, 2015.
- [93] Morse N, Walter MT, Osmand D, Hunt W. "Roadside soils show low plant available zinc and copper concentrations". *Environmental Pollution*, 209, 30-37, 2016.