

# Denizli İlinde Tarım Arazilerinde Ulaşım Kaynaklı Kirlenme

**Ece Atilla, Soner Haldenbilen**

Denizli İl Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü, Pamukkale Üniversitesi  
0258 296 3310, 0258 212 5480  
ece.atilla@tarim.gov.tr, shaldenbilen@pau.edu.tr

**Tamer Koralay**

0258 296 3374  
Pamukkale Üniversitesi  
tkoralay@pau.edu.tr

## Öz

Bu çalışmanın amacı Denizli ilini komşu illere bağlayan karayolu (6 kesit) kenarlarında bulunan tarım arazilerindeki ulaşım kaynaklı krom (Cr), nikel (Ni), cıva (Hg), kurşun (Pb) ve uranyum (U) elementlerinin sebep olduğu ağır metal kirliliğinin boyutlarını incelemek ve yol ana ekseninden mesafeye bağlı olarak metallerin yoğunluklarının değişimini belirleyebilmektir. Bu amaçla her bağlantı yolu için, şehir merkezinden sonra tarım arazilerinin arttığı gözlemlenen yol ana eksenindeki 3'er noktadan sağ ve sol taraflarda 0-50, 50-100, 100-150 m uzaklıklarda olmak koşulu ile 6' şar noktada toplam 108 adet toprak örneği alınmıştır. Alınan toprak numuneleri XRF cihazı kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuç olarak toprakların ağır metal içeriklerinin Cr için 186.4-854.1 ppm, Ni için 134.4-700.1 ppm, Hg için 0.9-1.7 ppm, Pb için 7.6-23 ppm ve U için 2.1-3.3 ppm arasında değiştiği belirlenmiştir. Analiz sonuçları topraktaki ağır metallerin sınır değerleri ile karşılaştırılmış, Pb ve U element değerlerinin izin verilen sınır değerlerin altında, diğerlerinin ise üzerinde olduğu görülmüştür. Karayolu ana ekseninden gidiş ve dönüş yönünde yol ekseninden uzaklaştıkça Cr ve Ni değerlerinin arttığı, Hg ve Pb değerlerinin azaldığı saptanmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Toprak kirliliği, Ağır metal, Litoloji, Trafik kirliliğe etkisi

## Giriş

Denizli ili 369 bin ha tarım arazisine sahiptir ve bunlar topografik yapı gereği yol kenarında, yapılaşmalardan uzakta ve ovalarda daha fazladır (GTHB, 2015; TOİK, 2014). Günümüzde teknolojik gelişmeler ve toplumsal ihtiyaçlara bağlı olarak giderek artan motorlu taşıtlar önemli çevre sorunlarını da beraberinde getirmektedir. 2011 yılı itibarıyla çalışma bölgemiz olan ve Karayolları Genel Müdürlüğü'nün (KGM) 2. Bölgesi'nde kalan devlet yollarında kilometre başına düşen toplam motorlu taşıt sayısı 7.865.118 iken, 2015 yılı sonunda 9.961.317'ye yükselmiştir.

Toprak-bitki sistemi jeosfer ve biyosferin en önemli kısmını oluşturmaktadır. Ağır metaller kayaçların ve dolayısıyla toprakların doğal bileşenleridir ve topraklar bileşimlerine bağlı olarak farklı oranlarda ve formlarda ağır metal içerirler. (Aydeniz,

1985; Vural, Şahin, 2012; Sezgin ve diğ. 2003) Bununla birlikte antropojenik kökenli ağır metallerin yol açtığı toprak kirliliği tüm dünyanın dikkatini çeken bir konu olmuştur (Kocaer, 2003; Temelci, 2000; Atabey, 2010). Ağır metaller, yoğunluğu 5 g/cm<sup>3</sup>'ten daha yüksek olan ve düşük derişimlerde bile toksik veya zehirleyici olan metal olarak tarif edilmektedir. Ağır metaller içerisinde arsenik, berilyum, kadmiyum, kurşun, krom, mangan, demir, bakır, nikel, cıva, çinko ve bunların metaloidleri girmektedir. Bu elementler yer kürede genellikle karbonat, silikat ve sülfür bileşikleri veya silikatlar içinde bağlı olarak bulunurlar (Düzgören Aydın, 2005; Kahvecioğlu ve diğ., 2007; Atabey, 2010). Belirli oranlarda alınması durumunda canlı organizmalar için önemli yararları olan ağır metaller, önerilen sınır değerlerin aşılması durumunda ise canlı organizmanın yaşamsal faaliyetlerini kısıtlamakta, hatta ölümüne sebebiyet verebilmektedir.(Göl ve diğ., 2007; Akgül, 1992; Yalçınlar, 1963) Literatürde ağır metaller içinde en şiddetli zehir etkisi olanların kadmiyum, kurşun ve cıva olduğu ifade edilmektedir (Kartal ve diğ., 2007; Özkul, 2008). Ağır metaller katı, sıvı ve gaz hallerde bulunabilen en önemli zararlı maddeler arasında yer almaktadır. Bunun sonucunda ağır metaller toprak, su ve hava gibi doğal yaşam kaynaklarını kirleterek yaşam kalitesini belli oranlarda düşürmektedir. Örneğin ağır metallere ikincil derecede ölümcül etkiye sahip cıva elementinin 55 mg'ı 51 kg bir insanın vücut hareketlerini kontrol sistemi yani motor kontrol sisteminin sinirsel bozukluklar göstererek yetisini kaybetmesine neden olabilmektedir (Fergusson, 1990; Yaman, 1994). Bu çalışmada kullanılan Cr, Ni, Hg, Pb ve U elementlerinin potansiyel kirlenici kaynakları Tablo 1' de verilmiştir. Tablo 1'de de görüldüğü gibi çalışma kapsamında incelenen elementler gerek motorlu kara taşıtlarının yapımında gerekse de işletilmesinde (yakıt) kullanılan malzemelerin içeriklerinde önemli miktarlarda yer almaktadır.

Tablo 1 Bu çalışmada kullanılan bazı ağır metallerin önemli kirlenici kaynakları ve insan sağlığına olan etkileri

Ağır Metal Türü	Önemli Kirlenici Kaynaklar	İnsan Sağlığına Etkileri
<b>Krom (Cr)</b>	Çelik ürünleri, fosil yakıt tüketimi, döküm ürünleri, küller, motorlu taşıtlar, fosfatlı gübre, lağım suları	Deride iritasyon ve Ülser, Böbrek ve Karaciğer hasarı
<b>Nikel (Ni)</b>	Madencilik faaliyetleri, çelik ürünleri, küller, fosil yakıt tüketimi, motorlu taşıtlar, petrol türevli ürünler, döküm ürünleri	Akciğer, burun, prostat ve gırtlak kanseri, Astım ve kronik bronşit, Kalp rahatsızlıkları
<b>Cıva (Hg)</b>	Fosil yakıt tüketimi, döküm ürünleri, küller, lağım suları	Sinir sistemi rahatsızlıkları, Kalp krizi, Deride kızarıklık ve yaralar
<b>Kurşun (Pb)</b>	Akü ve balans parçaları, uçucu küller, fosil yakıt tüketimi, motorlu taşıtlar, fosfatlı gübre, döküm ürünleri	Böbrek hasarı, Beyin fonksiyonlarında hasar, Çocuklarda IQ düşüklüğü
<b>Uranyum (U)</b>	Fosil yakıt tüketimi, fosfatlı gübre	Böbrek ve Karaciğer hasarı

Denizli bağlantı yollarında, her geçen gün artan trafik yoğunluğuna bağlı olarak yol ana ekseninden Denizli'den gidiş ve dönüş yönleri dikkate alınarak belli aralıklarla alınan toprak örneklerinde saptanan Cr, Ni, Hg, Pb ve U ağır metallerinin yol kenarında bulunan ve halen tarım yapılabilen arazilerin kirliliğine olan etkileri incelenmiştir. Toprak numunelerinin analiz sonuçlarından elde edilen değerlerin ölçü birimi mg/kg (ppm) olarak belirlenmiştir. Bu bağlantı yolları Denizli ile Aydın, Ankara, Uşak, Manisa, Muğla ve Antalya illeri arasındaki devlet yolları olarak tercih edilmiş olup tali yollarla bağlantılar çalışma konusu dışında bırakılmıştır.



Şekil 1 Denizli İli Bağlantı Yolları

Bağlantı yolları Şekil 1 de gösterilmektedir. İncelenen Cr, Ni, Hg, Pb ve U ağır metalleri den örnek olarak, kurşun elementi ile ilgili yapılan araştırmalarda, yol kenarından ve taşıt yoğunluğundan uzaklaştıkça bu elementin değerlerinin yükseldiği, aksine yol kenarına ve kavşaklara yaklaştıkça egzoz gazından etkilenerek kurşun değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir (Türkan, 1982; Haktanır, 1995).

## Çalışma Bölgesi ve Yöntem

### Trafik Bilgileri ve Çalışma Alanı

Denizli ilindeki trafik yoğunluğu her yıl hızla artış göstermektedir. Bu da alternatif yol arayışlarını ve yeni yol yapım gereksinimlerini artırmaktadır. Çalışmada incelenen yollar devlet yollarıdır ve Karayolları Genel Müdürlüğü 2. Bölge Müdürlüğü yetki alanında kalmaktadır. Yol kesitlerine ait YOGT değerleri Tablo 2’ de verilmiştir. Veriler KGM’nin taşıt ve yol envanterleri ile trafik yoğunluk haritalarından elde edilmiştir.

Tablo 2 Yıllara Göre Trafik Artışı ve Oranları (KGM, 2016)

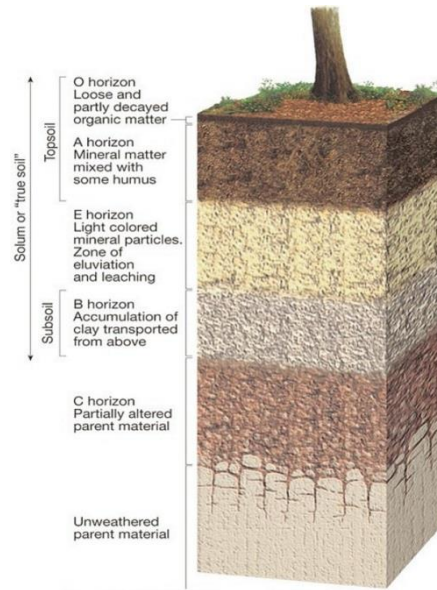
Yıl	Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT)						Artış Oranı (%)					
	Muğla	Antalya	Ankara	Uşak	Manisa	Aydın	Muğla	Antalya	Ankara	Uşak	Manisa	Aydın
2011	4635	5211	13730	3536	2740	12781	-	-	-	-	-	-
2012	5009	5610	13902	3654	2870	11915	8,07	7,66	1,25	3,34	4,74	-6,78
2013	6074	5891	14954	4485	6375	11566	21,26	5,01	7,57	22,74	122,13	-2,93
2014	6598	6330	16487	4454	6943	12452	8,63	7,45	10,25	-0,69	8,91	7,66
2015	7706	7190	18863	5388	7863	14264	16,79	13,59	14,41	20,97	13,25	14,55

YOGT değerleri incelendiğinde trafiğin yıldan yıla arttığı gözlenmektedir. İncelenen karayolu akslarında 2015 yılı için YOGT değerleri 7000-18000 taşıt/gün düzeyinde

olup 2011 yılına göre ortalama artış oranı %65 seviyelerindedir. Tabloda görüldüğü gibi son beş yılda taşıt yoğunluğu artmıştır. Sadece Aydın ve Uşak bağlantılarında bazı yıllarda kirliliğe etkileri göz ardı edilebilecek şekilde bir azalma gözlenmiştir. Denizli-Ankara ile Denizli-Aydın bağlantılarındaki trafik yoğunluğu diğerlerinden daha fazladır. Bunun sebebi yolların hizmet kalitesinin diğer bağlantı yollarına göre yüksek olması ve ticari transit geçiş noktaları olmasıdır. (Yomralıoğlu, 2005)

## Materyal ve Yöntem

Çalışma kapsamında Şekil 1’ de verilen bağlantı yollarında, yol eksenindeki ara mesafelerin yol uzunluğuna ve tarım arazilerine bağlı olarak seçilmesiyle, yerleşim yerlerinden uzak arazilerden, belli aralıklarla 3 noktada, yol ana ekseninden sağ ve sol taraflarda 6’şar farklı noktada, yoldan 0-50, 50-100, 100-150 metre uzaklıklardan her bağlantıda 18’er adet toplamda 108 adet numune alınmıştır. Toprak tabakasından örnek alınırken, ana kayacın ayrışması sonucu oluşmuş toprak tabakasının belirli derinliklerinden özel burgular yardımı ile 50 gr kadar örnek alınarak etiketli torbalara konular, isimleme veya kodlaması yapılmaktadır. Örnek alma derinliği genellikle 20-30 cm arasındadır. Jeokimyasal prospeksiyon ve kirlilik çalışmalarında toprak örnekleriyle çalışma en uygun olanıdır. Toprakta O, A, E, B, C ve R tabakaları olarak adlandırılan ana horizonlar bulunmaktadır (Şekil 2). Normal koşullarda bu tabakalar farklı renklere sahiptir ve numune alınırken topraktaki renk değişimi gözle ayırt edilebilmektedir.



Şekil 2 İdeal bir toprak profilinde görülen horizonlar

İncelenen bağlantı yollarındaki toprak profilleri, üzerinde bitkilerin bulunduğu organik madde ve mineraller bakımından toprağın en zengin kısmı olan O ile A tabakası denilen horizonlardan oluşmaktadır. (Baillie, 2001; Aksoy, 1995; Mulligan ve diğ. 1999) Analiz edilen toprak örnekleri O ve A horizonlarının geçiş zonundan, 10-50 cm arasında değişen derinliklerden alınmıştır. Ağır metallerin toprak ve/veya kaya parçacıklarının üzerinde ikincil olarak zenginleşmiş olabileceği (trafik kaynaklı kirlilik) düşünüldüğü için toprak örnekleri üzerinde herhangi bir ön eleme işlemi yapılmamıştır. Benzer şekilde toprak numuneleri içinden bitki kökü, yaprak, antropojenik kaynaklı çöp ve benzeri yabancı maddeler elle ayrılarak poşetlenmiştir. Araziden alınan toprak

örneklerinin kimyasal analizleri Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü XRF Laboratuvarı'nda Spectro XEPOS-III PEDXRF cihazı kullanılarak yapılmıştır. Analizler USGS'in sedimanter kayaçlar (kumtaşı, kireçtaşı) için oluşturduğu standartlar kullanılarak kalibre edilmiştir. XRF analizleri için, toprak örnekleri halkalı değirmende 150-200 mesh boyutuna kadar öğütülmüştür. Elde edilen örnek tozları 1100 °C'lik fırında 2 saat kalsine edilerek, örnek ağırlığının yüzde azalımı olarak hesaplanan kızdırma kaybı miktarları belirlenmiştir. Daha sonra her bir kayaç tozundan 6.25 gr alınarak, 1.40 gr bağlayıcı wax ile homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Karışım halindeki örnek tozu 15-20 N/m basınç altında, 40 mm çapında bir tablet şeklinde sıkıştırılmış ve analize hazır hale getirilmiştir.

Bir elementin bir bölgedeki ortalama derişimi, o elementin temel değeri olarak bilinir. Ancak değişik jeolojik ve jeokimyasal olaylar sonucunda, herhangi bir elementin bir bölgedeki derişimi, ortalama derişimine oranla değişebilir (artabilir veya azalabilir). Bu durum, daha çok cevher oluşumları ve antropojenik kirlilik olaylarının görüldüğü ortamlarda gerçekleşir. Herhangi bir cevherleşme içermeyen kayaçta aranılan elementin ortalama derişimine temel değer denilir. Temel değerlerde görülen değişimlerin en üst sınırına **eşik değer** ve/veya **sınır değer** adı verilir. Sınır değer üzerindeki değerler anomali, altındaki değerler ise temel değerlerdir. Jeokimyasal prospeksiyon ve kirlilik araştırmalarında en önemli noktalardan biri eşik değer belirlenmesidir. Tablo 3'de Cr, Ni, Hg, Pb ve U elementlerine ait sınır değerler verilmiştir. Bu çalışmada elde edilen analiz sonuçlarının değerlendirilmesi ve karşılaştırılması bulgular kısmında yer almaktadır.

Tablo 3 Topraktaki incelenen ağır metal sınır değerleri (Reimann and Caritat,1998)

Elementler (ppm)		Cr	Ni	Hg	Pb	U
Sınır Değerler (ppm olarak)	Minimum	<5	<2	0.005	<5	0.2
	Maksimum	86	60.1	0.13	43.2	18
	Ortalama	19.1	8.11	0.04	7.45	2.2

## Bulgular ve Tartışma

### Çalışma Alanındaki Çevresel Etkiler ve Toprak Özellikleri

Çalışma alanında karasal iklim hüküm sürmektedir. Yağışı az, bitki örtüsü zayıf olan yerlerde rüzgar etkisi fazladır. Rüzgarların yeryüzünü aşındırabilmeleri için düz bir topografyanın bulunması ve hızlarının 60-100 km/sa' dan yüksek olması gerekir. Denizli ili için rüzgar ve rüzgar aşınımları, eğimli arazi yapısından ve mevsim rüzgarlarının hızının yüksek olmamasından dolayı zayıf bir etmendir. Depolanmış tümseklerin yükseklikleri belirleyici olmakla birlikte bu yüksekliğin 90-120 cm'yi geçmesi halinde belirlenecek arazi tipine dahil edilmesi uygundur. Çalışma bölgesinde böyle bir etkiden söz edilemez. Akarsu ve göllerin etkisi sonucu, delta oluşumları fazla olduğundan kum, kil, silt gibi ince materyallerin alüvyal toprak yapısının içine taşınarak yığılmasına sebep olmaktadır. Menderes Nehri'nin akıntı hızı ile çakıl ve taş gibi parçacıklarda sürüklenmektedir. Bu bölgedeki ağır metal emisyonlarını etkileyecek başka kaynakların bulunmamasına dikkat edilmiştir. Bu yüzden numuneler şehir merkezlerinden, fabrikalardan ve çeşitli kimyasal atıklar bırakan işletmelere uzak tarım arazilerinden alınmıştır. (Aydın ve diğ. 2010; Aydın ve diğ. 2011; Akça ve diğ. 2015)

Çalışma konusunu oluşturan yol kesitleri ve bu yol kesitlerinin içerisinde geçtiği kaya/toprak birimleri Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından hazırlanmış 1/100000 ölçekli jeoloji haritası yardımıyla belirlenmiştir. Buna göre il genelinde alüvyon çökelleri dikkat çektiği için her yerde bu büyük toprak grubundan mevcuttur. Antalya ve Muğla bağlantılarında ormanların ve dik yamaçların bulunmasından dolayı kolüvyal toprak grubu öne çıkarılabilir. Batı kısmında ise Menderes Nehrinden dolayı killi yapı dikkat çekmekte olup bu kısımda alüvyonlu topraklara ilaveten kum ve çakıl bileşenleri ön planda tutulabilir. Alınan toprak numunelerinde Denizli ilinin doğu ve batı kısımlarında sadece alüvyonlu topraklar yer almakta olup bu sulanabilir tarımsal alanların kısıtlı olması ve karasal iklimin hüküm sürmesinin sonucu olarak açıklanabilir. Kuzey kısmında yine batıda belirlenen toprak çeşidi ile eşdeğer özellikler görülmekte olup buna ilaveten topraklarda bulunan kireç oranının artışının Uşak iline yaklaştıkça daha da belirginleştiği saptanmıştır ve bu durum numune alımı sırasında toprak renginin koyu kahverengiden griye dönüşmesinin ile gözle görülür bir şekilde ayırt edilebilmektedir.

### Çalışma Alanının Ağır Metal Değerleri

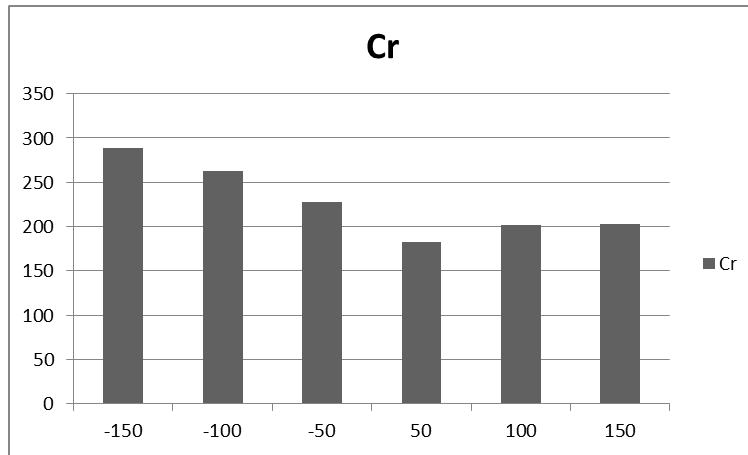
108 adet toprak örneğinin bağlantı yollarındaki ortalama Cr, Ni, Hg, Pb ve U içerikleri Tablo 4’de verilmiştir. Analiz sonuçlarını gidiş-dönüş yönlerinde incelediğimizde, sonuçların birbirine benzer özellik gösterdiği, genel olarak aynı bağlantılarda yakın değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Fakat yoldan uzaklaştıkça elementlerin değerlerinde farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Cr, Ni, Hg, Pb ve U ağır metalleri için her bağlantıdaki tüm numunelerin ortalaması alınarak elde edilen Tablo 4’deki değerlerden 1,0’dan küçük olanların ortalamalara etkisi yoktur.

Tablo 4 İncelenen toprak örneklerinin bazı ağır metal içerikleri (ppm)

Elementler		Cr	Ni	Hg	Pb	U
Bağlantı Yolları Ortalama Değerleri (ppm olarak)	Aydın	227.7	168.1	0.9	12	2.1
	Ankara	189.2	189.9	< 1.0	7.6	3.1
	Uşak	854.1	666.7	1.1	10.8	< 1.0
	Manisa	186.4	134.4	1.5	16.7	2.4
	Muğla	782.5	700.1	1.7	23	< 1.0
	Antalya	476.2	401.5	1.3	19.7	3.3
	<b>Ortalama</b>	<b>452.7</b>	<b>376.8</b>	<b>1.3</b>	<b>15</b>	<b>2.7</b>

Cr elementi incelendiğinde, literatürde sınır değerinin 86.0 ppm, analiz sonuçlarında ise 452.7 ppm olduğu Tablo 3 ve Tablo 4 de gösterilmektedir. Denizli-Uşak bağlantısında ise 854.1 ppm değeri elde edilmiştir. Bunun sonucunda, hem maksimum hem de analiz ortalama değeri aşıldığı için Uşak bağlantısında yüksek Cr kirliliği vardır. Ni elementinin değerleri maksimum 60.1 ppm, analiz ortalamamızda ise 376.8 ppm belirlenmiş olup Denizli-Muğla bağlantısında 700.1 ppm en yüksek değer olarak tablolarda görülmektedir ve Cr elementi gibi hem maksimum hem de ortalama değeri aşıldığı için Muğla bağlantısında yüksek Ni kirliliği mevcuttur. Hg elementine ait sonuçlar incelendiğinde maksimum 0.13 ppm ve analiz ortalaması olarak 1.3 ppm olan değerler Denizli-Muğla bağlantısındaki 1.7 ppm değeri ile aşılmıştır ve bu bağlantıda en yüksek Hg kirliliği tespit edilmiştir. Pb incelendiğinde, literatürde maksimum 43.2 ppm

olan değer analiz sonuçlarında ise ortalama 15 ppm ve Denizli-Muğla bağlantısında 23 ppm olarak ölçülmüştür. Burada maksimum değer aşılmadığı için yüksek miktarda Pb kirliliğinden söz edilemez fakat Manisa, Muğla ve Antalya bağlantılarında analiz ortalama değer aşıldığı için Pb kirliliği vardır. U elementi incelendiğinde, literatürde maksimum 18.0 ppm değeri görölmektedir. Analiz sonuçlarında ortalama değer 2.7 ppm olarak belirlenmiştir. Sonuçlara göre en yüksek değer ise 3.3 ppm değeri ile Denizli-Antalya bağlantısında görölmüş olup kirlenmeden söz edilebilir. Ni, Hg ve Pb elementlerinin Muğla, Cr'nin Uşak ve U'nun ise Antalya bağlantısında en yüksek değere ulaştığı Tablo 4 de görölmektedir. Tablo 2 deki trafik yoğunluk ve artış değerleri incelendiğinde Ankara bağlantısı en yoğun karayolu olarak görölmektedir. Muğla, Uşak, Antalya ise en az yoğunluğa sahip üç bağlantıdır. Burada trafikte az yoğunluğa sahip bağlantılarda ağır metal ortalama değerleri daha yüksek belirlenmiştir. Elementlerin en düşük yoğunluklarını bağlantı yollarına göre incelediğimizde, Cr ve Ni için en düşük değerler 186.4 ve 134.4 ppm ile Denizli-Manisa, Hg ve U için en düşük değerler 0.9 ve 2.1 ppm ile Denizli-Aydın, son olarak Pb için en düşük değer Denizli-Ankara bağlantısıdır. Ankara, Aydın ve Manisa da en fazla trafik yoğunluğuna sahip bağlantılardır. Şekil 3'de Cr elementinin incelenen bağlantılardan belirlenen ortalama değer ile literatürdeki eşik değerinin karşılaştırıldığı grafik gösterilmektedir. Benzer şekilde diğer elementlerde incelenmiştir. Tablo 3 ve Tablo 4'de görüleceği üzere Cr, Ni, Hg, Pb ve U elementleri için alınan numunelerin analiz sonuçlarından elde edilen değerler, ortalama değerlerinin üzerinde çıkmıştır. Cr ve Ni elementlerinin analiz ortalamaları maksimum değerlerini dahi aşmıştır. Bu da Cr ve Ni elementlerinin yüksek oranda Denizli ile bağlantı yollarında toprak kirliliğine sebep olduğunu gösterir. Hg, Pb elementlerinin analiz değerlerinde Denizli-Muğla, U'nun değerlerinde ise Denizli-Antalya bağlantısı en yüksek değerlere sahiptir. Burada elementlere göre bağlantı yollarında bulunma değerlerinin değişimi belirlenmiştir. Cr'nin Uşak bağlantısında, Ni, Hg ve Pb'nin Muğla bağlantısında, U'nun ise Antalya bağlantısında en yüksek; Cr ve Ni'nin Manisa bağlantısında, Hg ve U'nun Aydın bağlantısında, Pb'nin ise Ankara bağlantısında en düşük değerlere ulaştığını göstermektedir.



Şekil 3 Krom Ortalama Eşik Değerlerini Bağlantı Yollarına Göre Karşılaştırma Grafiği.

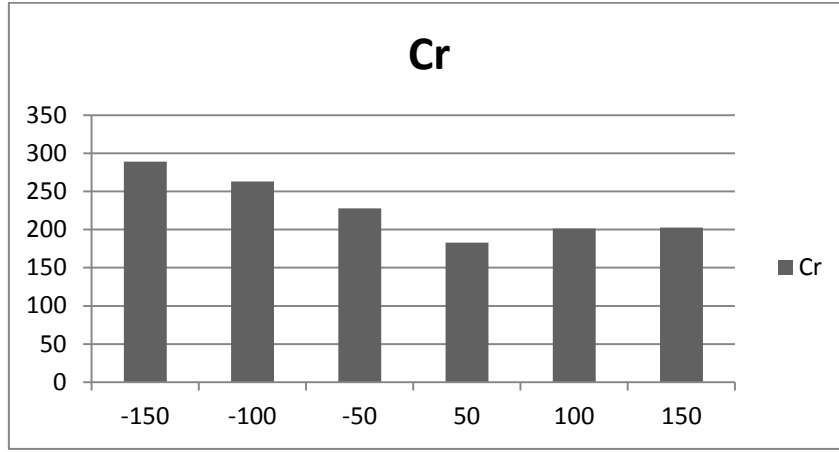
Burada dikkati çeken diğer önemli konu, toprak numunelerini aldığımız yerlerdeki jeolojik birimlerdir. Litolojik açıdan numune alınan yerlere denk gelen toprak formları;

- Aydın bağlantısı, Q-21-k (kuvaterner), pl-18-k (pliyosen), Q-24-k (kuvaterner)
- Ankara bağlantısı, sadece Q-21-k
- Uşak bağlantısı, Q-21-k, pl-20-k (pliyosen), pl-18-k

- Manisa bağlantısı, Q-21-k, pl-18-k
- Muğla bağlantısı, Q-21-k, Q-24-k, ol-18-k (oligosen)
- Antalya bağlantısı, Q-23-k (kuvaterner), Q-21-k, Q-24-k şeklindedir.

Çalışmada gidiş-dönüş yönünde ve karayolu ana ekseninden sağa ve sola uzaklaştıkça alınan numunelerin element değerlerindeki düzensiz artma ve azalmaların toprağın kum, çakıl, çamur, kireç, moloz, taş, kayaç vb. parçacıkların toprakta bulunma özelliklerinden etkilenebileceğini düşündürmektedir. Aynı zamanda litolojik açıdan ele alınması ve aralarındaki benzerlik ya da farkların daha detaylı bir çalışmada incelenmesi gerekmektedir.

Şekil 4’de Cr elementi için Aydın bağlantısındaki sağa ve sola 0-50, 50-100 ve 100-150 m’lerindeki analiz ortalama değerleri verilmiştir. Bu şekilde bütün elementler için karşılaştırma grafikleri oluşturulmuştur.



Şekil 4 Cr’nin Aydın bağlantısı için yol ekseninden sağa ve sola yoğunluk değerleri

Cr için en yüksek kirliliğin olduğu Denizli-Uşak bağlantısı, gidiş ve dönüş yönlerinde incelendiğinde Cr miktarının gidiş yönünde yol ekseninden uzaklaştıkça önce azalır sonra arttığı, dönüş yönünde uzaklaştıkça önce artıp sonra azaldığı görülmektedir. Dönüş yönündeki Cr miktarı gidiştekinden azdır. Bu şekilde Cr için en düşük kirliliğinin olduğu Manisa bağlantısında ise gidiş yönünde eksenden uzaklaştıkça değerlerin arttığı, dönüşte ise önce azalır sonra arttığı gözlemlenmiştir. Her iki bağlantıda da dönüş yönündeki Cr kirlilik oranı gidişten fazladır. Ni için en yüksek kirliliğin olduğu Denizli-Muğla bağlantısı incelendiğinde Ni miktarının gidiş ve dönüş yönünde yol ekseninden uzaklaştıkça arttığı görülmektedir. En düşük Ni kirliliğinin olduğu Denizli-Manisa bağlantısı incelendiğinde, gidiş yönünde eksenden uzaklaştıkça değerlerin önce artıp sonra azaldığı, dönüşte ise önce azaldığı gözlemlenmiştir. Muğla bağlantısı için dönüş yönündeki, Manisa bağlantısında ise gidişteki Ni kirlilik oranı fazladır. Hg için en yüksek kirliliğin olduğu Denizli-Muğla bağlantısı incelendiğinde, gidiş yönünde eksenden uzaklaştıkça önce azalır sonra artan kirlilikten söz edilirken, dönüşte azalan kirlilik söz konusudur. Hg’nin en düşük kirlilik oranına sahip Denizli-Aydın bağlantısında ise gidişte artan, dönüşte ise önce azalır sonra artan kirlilik mevcuttur. Her iki bağlantıda da gidiş yönündeki Hg kirlilik oranı dönüş yönünden fazladır. Pb için en yüksek kirliliğin olduğu Denizli-Muğla bağlantısı incelendiğinde, gidiş yönünde eksenden uzaklaştıkça önce artıp sonra azalan kirlilikten söz edilirken,



dönüşte azalan kirlenme söz konusudur. Hg'nin en düşük kirlilik oranına sahip Denizli-Ankara bağlantısında ise gidişte önce azalıp sonra artan, dönüşte ise artan kirlilik mevcuttur. Her iki bağlantıda da dönüş yönündeki Hg kirlilik oranı gidiş yönünden fazladır. U için en yüksek kirliliğin olduğu Denizli-Antalya bağlantısı incelendiğinde, gidiş yönünde sadece 50-100 m' de bir değer elde edilmiş, dönüş yönünde ise herhangi bir değer belirlenmemiştir. En düşük U kirlilik oranına sahip Denizli-Aydın bağlantısında gidiş yönünde önce artan sonra azalan, dönüş yönünde ise önce azalan sonra artan kirlilik görülmektedir. Burada gidiş yönündeki kirlilik dönüşten fazladır. Genel olarak bakıldığında incelediğimiz altı adet bağlantı yolunda tüm elementler için dönüş yönündeki toplam kirlilik oranlarının gidiş yönünden fazla olduğu belirlenmiştir. Sadece Manisa bağlantısında gidiş yönündeki kirlenme daha fazladır, Ankara'da ise gidiş-dönüş oranı aynıdır. Bu durumda taşıt yoğunluğunun etkisi kısmi olarak görülmektedir. Denizli bağlantı yollarında, verilerdeki düzensiz dalgalanmaların iklim geçişinden etkilenebilir olması ve gidiş-dönüş yönündeki trafik yoğunluğunun farklı olabileceği düşünülmekte olup bu konunun başka çalışmalarda incelenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

## Sonuçlar ve Öneriler

Çalışma alanında belirlenen ağır metal yoğunluklarına bakıldığında, bugün için çalışma alanında Cr ve Ni hariç diğer ağır metaller için kirlilik düzeyinin aşırı olmadığı ancak literatürdeki maksimum eşik değeri aşmayan bir kirlenmenin gözlemlendiği belirlenmiştir. Cr, Ni, Hg ve Pb elementlerinin yol ekseninden sağa ve sola uzaklaştıkça belirlenen değerleri artmaktadır. Trafik yoğunluğu ile eksenden belirlenen mesafelerin birbiri ile her hangi bir bağlantısı analiz sonuçlarına göre yoktur. Fakat trafiğin yoğun olduğu bağlantılarda elementlerin kirlilik oranları düşüktür yani trafik yoğunluğu element yoğunlukları ile ters orantılıdır. U elementi için de aynı sonuçlar elde edilirken, sadece analiz sonuçları U kirliliğinin daha farklı etmenlere bağlı olabileceğini ve bunun daha detaylı bir çalışmada incelenmesi gerektiğini göstermektedir. Bu durumda Denizli ili için tarım arazilerinde ulaşım kaynaklı toprak kirliliğinden söz edemeyiz. Bu sonuçlar doğrultusunda;

- Trafiğin en yoğun olduğu Denizli-Ankara bağlantısında, Hg için bir bulgu elde edilememiş olup, Cr, Ni ve U için gidiş yönünde yol ekseninden uzaklığa bağlı artan bir kirlilik, dönüş yönünde ise azalan bir kirlilik saptanmıştır.
- Denizli- Aydın yolunda Cr, Ni, Hg ve Pb için hem gidiş hem dönüş yönünde karayolu ekseninden uzaklaştıkça artış tespit edilmiştir. Dönüşte ise Cr ve Ni elementlerinde artış varken, diğer elementlerde önce azalıp sonra artma gözlemlenmiştir.
- Denizli-Manisa bağlantısında ise tüm elementlerde gidiş ve dönüş yönünde sabit bir artma azalma belirlenmemiştir. Genel anlamda Ni hariç gidiş yönünde diğer elementlerde eksenden uzaklaşma artmaya sebep olurken, dönüşte Cr ve Ni hariç önce artıp sonra azalan kirlilik mevcuttur.
- Denizli-Muğla bağlantısı incelendiğinde, U elementine dair bir bulgu elde edilememiş olup, gidiş yönünde Cr azalan, Ni artan, Hg ve Pb ise birbiri ters bir azalma-artma oranı göstermektedir. Kirliliği artan, dönüş yönünde ise Cr ve Ni kirliliği artan, Hg ve Pb azalan değerlerdedir.
- Denizli-Antalya bağlantısında gidiş yönünde Cr, Ni ve Hg için artan, Cr, Hg ve Pb değerlerinde eksenden uzaklık ile dönüş yönünde azalan kirlenme belirlenmiştir.

- Denizli-Uşak bağlantısında U elementine dair bir bulgu elde edilememiştir. Cr ve Ni için azalarak artan, Hg ve Pb için gidiş yönünde azalan değerler elde edilmiştir. Dönüşte ise Cr, Ni ve Pb için artarak azalan kirlilik mevcuttur. Hg ise artan değerlerdedir.

Sonuç olarak, Denizli ilindeki Uşak bağlantısı hariç diğer tüm bağlantı yollarında, gidiş yönünde trafik yoğunluğuna bağlı olmaksızın Cr, Ni, Hg, Pb ve U elementlerinin değerleri yol ekseninden uzaklaştıkça artan bir ağır metal kirliliğini göstermektedir. Denizli-Uşak en az trafik yoğunluğuna sahip bağlantıdır ve buradaki değerler Cr hariç, gidiş yönünde hep azalmaktadır. Bağlantılardaki dönüş yönlerinde ise artma ve azalma oranları değişim gösterirken her hangi bir benzerlik göstermemektedir. En yoğun trafiğe sahip Denizli-Ankara ve bölgedeki üçüncü trafik yoğunluğuna sahip Denizli-Manisa bağlantılarında Cr, Ni, Hg, Pb ve U elementlerinin değerleri karayolundan uzaklaştıkça azalırken, ikinci trafik yoğunluğuna sahip Denizli-Aydın yolunda artmaktadır. Değerler irdelendiğinde, kirliliğin trafik yoğunluğu ve yol eksenine olan uzaklık ile olan ilişkisi net olarak ortaya konulamamaktadır. Kirlenme şeklinin diğer faktörlerle olan ilişkilerinin incelenmesi gelecek çalışmalar kapsamında değerlendirilmiştir.

Çalışmada trafik yoğunluğunun ve yol ekseninden uzaklığın ağır metal yoğunluğuna etkisi araştırılmış ve Denizli bağlantı yollarında incelenen Cr, Ni, Hg, Pb ve U ağır metallerinin toprakta bulunan değerlerinin trafik kaynaklı olmadığı saptanmıştır. Bu durumda mevcut kirliliğin aslında örnek alınan lokasyonlardaki bulgular kısmında anlatılan toprak formları ve baskın kaya birimleri ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlar, metal yoğunluğu ile trafik yoğunluğu arasında doğru orantılı artış göstermemektedir. Aksine bu beş elementin yoğunlukları genel anlamda trafikle ters orantıya sahip olsa da her bağlantıda ağır metal kirliliği vardır. Bağlantılarda tespit edilen ağır metal kirliliği önemli bir sorun teşkil etmekle birlikte, eğer önlem alınmazsa her geçen gün tarım topraklarında olumsuz sonuçlara sebep olmaya devam edecektir. Bu durumda, uygun toprak arıtım metodu, bölge karakteristikleri, giderilecek kirleticinin tipi, yoğunluğu ve kirlenmiş arazinin sonraki kullanımı gibi pek çok değişik faktörün incelenmesi ile bulunabilir. Sonuçlar, il genelinde incelenen ağır metal kirliliğinin mevcut olduğunu ve bunun uygun alternatif araç kullanımı ya da gerekli toprak koruma metotların uygulanması ile daha az seviyelere çekilebileceğini göstermektedir. Ayrıca kirlenme şekillerinin sadece trafik değil iklim ve topografya gibi diğer faktörlerle de ilişkilendirilmesinin gerekliliğini göstermektedir. Böylelikle kirlenme mekanizması daha net açıklanabilecek ve daha etkin önleme ve temizleme yöntemleri uygulanabilecektir.

**Teşekkür:** *Bu çalışma Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından 2014FBE065 nolu BAP projesi kapsamında desteklenmiştir.*

## Kaynaklar

Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı (2015) Denizli İli Tarımsal Yatırım Rehberi, 34 sayfa, Ankara.

Tarım Özel İhtisas Komisyonu (2014) “Tarım Arazilerinin Sürdürülebilir Kullanımı Çalışma Grubu Raporu”, Onuncu Kalkınma Planı (2014-2018), 79 sayfa, Ankara.

Aydeniz A, (1985) “Toprak Amenajmanı”, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 928, Ders Kitabı No: 263, Ankara.

Vural A. ve Şahin E. (2012) “Gümüşhane şehir merkezinden geçen karayolunda ağır metal kirliliğine ait ilk bulgular”, Gümüşhane University Journal of Science and Technology Institute 2 (1), 21-35, Gümüşhane.

Sezgin N., Ozcan H.K, Demir G., (2003) Nemlioğlu S. ve Bayat C. Determination of heavy metal concentrations in street dusts in İstanbul E-5 Highway, Environment International, 29, 973-985, İstanbul.

Kocaer, F.O. and Başkaya, H.S., (2003) “Metallerle Kirlenmiş Toprakların Temizlenmesinde Uygulanan Teknolojiler”, Uludağ Ü., Mühendislik-Mimarlık Fak. Dergisi, 8 (1), 121-131, Bursa.

Temelci F. E. (2000) “Taşıtlarda Alternatif Yakıt Olarak Hidrojen Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, İstanbul, 60 sayfa, İstanbul.

Atabey, E. (2010) “Türkiye’ de İnsan Kaynaklı (Antropojenik) Unsurlar ve Çevresel Etkileri”, MTA Yer Bilimleri ve Kültür Serisi-7, 286 sayfa, Ankara.

Düzgören Aydın, N.S. (2005) “Kurşun İzotopları ve Ağır Metallerin Kaynakları ve Dağılımları: Örnek Çalışma-Şehir Çevre Kirliliği ve İnsan Sağlığı”, 1. Tıbbi Jeoloji Sempozyumu Kitabı, JMO yayını, 95, 65-73, Ankara.

Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. ve Timur, S., (2007) “Metallerin Çevresel Etkileri –I”, İTÜ, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, (erişim adresi: [www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136\\_4753.pdf](http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf), erişim tarihi: 13.05.2007).

Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. ve Timur, S., (2007) “Metallerin Çevresel Etkileri –I”, İTÜ, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, (erişim adresi: [www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136\\_4753.pdf](http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf), erişim tarihi: 13.05.2007).

Göl, C., Dengiz, O., Ören, N. (2007) Çankırı- Ovacıkıyla Havzası Orman Topraklarının Temel Özellikleri Ve Sınıflandırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, A(1), Isparta.

Akgül, M., (1992) Daphan Ovası Topraklarının Sınıflandırılması ve Haritalandırılması, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Yalçınlar, İ. (1963) Türkiye’de Görülen Bazı Eski Aşınım Satırları, İstanbul Üniversitesi, Coğrafya Dergisi, 7(13), İstanbul.

Kartal, G., Güven, A., Kahvecioğlu, Ö. ve Timur, S., (2007) “Metallerin Çevresel Etkileri–II[online]”,(erişim adresi: [www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136\\_4753.pdf](http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf), erişim tarihi: 13.05.2007).

Özkul, C. (2008) “İzmit (Kocaeli) Civarında Endüstrileşmenin Toprak Ağır Metal Derişimine Etkisi”, Uygulamalı Yerbilimleri 2, 1-9.

Fergusson, J.E., (1990) "The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects", 614 pages, Oxford, England, Pergamon Press, Oxford.

Yaman S. (1994) Karayolu kenar topraklarında kurşun kirlenmesi (Ceyhan-Adana), Tr. Journal of Engineering and Environmental Science, 19, 303-306.

Türkan, İ. (1982) "İzmir İli Şehir Merkezi ve Çevre Karayolları Kenarında Yetişen Bitkilerde Kurşun Kirlenmesinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, 18-32, İzmir.

Haktanır K., Arcak S., ve Erpul G. (1995) "Yol kenarındaki topraklarda trafikten kaynaklanan ağır metal birikimi", Engineering and Science, 19, 423-431.

Yomralıoğlu, T. ve Çete, M. (2005) "Türkiye İçin Sürdürülebilir Bir Arazi Politikası İhtiyacı", TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı (28 Mart-1 Nisan 2005), Ankara.

Baillie, I.C., Inciong, N.B., Evangelista, P.M., (2001) Soils and Land Use on Lithologically Alluvia on Coastal Plain of Palawan, Philippines, Singapore Journal of Tropical Geography, 22(1), pp:1-14, Singapore.

Aksoy, E., (1995) Amanos Dağları'nda Toprak Yapan Faktörler İle Toprak Genesisi Arasındaki İlişkinin Araştırılması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Mulligan, C.N., Yong, R.N. and Gibbs, B.F.,(1999) " On the use of biosurfactans for the removal of heavy metals from oil-contaminated soil", Environmental Progress, 18(1), 50-54.

Aydın, G., Dinç, U., Şenol, S., Atatanır, L., Öztekin, E., Dingil, M., Yorulmaz, A., Öztürk, S. (2010) Denizli İli Topraklarının Detaylı Temel Toprak Etüd ve Potansiyel Arazi Kullanım Haritalarının Hazırlanması Projesi- II. Kısım: Tavas Ovası, Cilt1: 231 sayfa, Denizli.

Aydın, G., Dinç, U., Şenol, S., Atatanır, L., Öztekin, E., Dingil, M., Yorulmaz, A., Öztürk, S. (2011) Denizli İli Topraklarının Detaylı Temel Toprak Etüd ve Potansiyel Arazi Kullanım Haritalarının Hazırlanması Projesi- II. Kısım: Acıpayam Ovası, Cilt 1:311 sayfa, Denizli.

Akça, E., Aydın, G., Bayramin, İ., Dengiz, O., Dingil, M., Ekinci, H., Gündoğan, R., Kapur, S., Kılıç, Ş., Kurucu, Y., Sarı, M., Şenol, S., Özcan, H., Öztekin, M.E., Demirel, B.Ç. (2015) Toprak Etüd Haritalama El Kitabı, GTHB Tarım Reformu Genel Md., Tarım Arazileri Değerlendirme Başkanlığı, Ankara.

Reimann, C. and Caritat, P., (1998) Chemical Elements in the Environment, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 397 pages, New York.

Siegel, F.R., (2002) Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 193 pages, New York.