

Şeker Pancarı Yaprak Spektral Yansımalarında Meydana Gelen Değişimin Topraklardaki Farklı Seviyede Ağır Metal İçeriklerine Bağlılığının Belirlenmesi

*Mert DEDEOĞLU¹, Levent BAŞAYIĞIT²

¹Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fak., Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Konya.

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fak., Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Isparta.

*Sorumlu yazar: mdedeoglu@selcuk.edu.tr

Geliş tarihi: 03/12/2018 Yayına kabul tarihi: 30/12/2018

Özet: Ağır metaller ile kirlenmiş topraklarda gerçekleştirilen bitkisel üretimler gıda zincirine dahil olmakta ve tüm yaşam sistemlerini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, toprakta doğal ve / veya yapay yollarla meydana gelebilen ağır metal kirliliği, özellikle tarım alanlarında kontrol edilmesi ve izlenmesi gereken zorunlu konulardan biridir. Günümüzde, pratik, hızlı ve çevre dostu yöntemler olan spektral teknikler, farklı çalışmalarda ağır metal kirliliği veya kirlilik potansiyeli olan alanları belirlemek için kullanılmaktadır. Bu çalışmada Konya – Çumra bölgesinde jeogenesis kaynaklı Ni ve Cr ağır metal birikiminin, bölgede geniş bir alanda yetiştirilen şeker pancarı bitkisi yapraklarının spektral imzasına etkilerinin Landsat-7 ETM+ çok bantlı uydu görüntüsü ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla ağır metal birikimi belirlenen parseller ile kirlilik olmayan parsellere ait şeker pancarı yaprak spektral yansımalarının ortalama değerleri ANOVA ($p < 0.05$) testi ile istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Araştırma ile ortalama spektral imza eğrilerinde grafiksel olarak ~ 560 – 630 – 780 nm dalgaboylarında yansıma farklılıkları olduğu, ancak Ni ve Cr ile kontamine olmuş topraklardan elde edilen yaprak spektral yansımalarında kontaminasyon olmayan bölgelere göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir. Çalışma sonucu, yansımaları etkileyen diğer besin elementi içeriklerinin grafiksel değişimin nedeni olarak ayrıca incelenmesi gerektiği ve ağır metal birikiminin devam etmesi riskine bağlı olarak bölge topraklarının belli aralıklar ile analiz edilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ağır Metal, ANOVA, Landsat – 7, Spektral yansıma, Şeker pancarı

Determination of The Relationship Between The Spectral Reflections of The Sugar Beet and The Heavy Metal Contents in The Soils

Abstract: When plant production is carried out in soil contaminated with heavy metals, this is included in the food chain and adversely affects all living systems, especially human and animal health. For this reason, the contamination of heavy metals which can be added to the soil environment naturally and/or artificially is one of the obligatory subjects to be controlled and followed especially in agricultural areas. Today, spectral techniques which are practical, fast and environmentally friendly methods are used intensively to identify heavy metal pollution or high pollution potential areas in different studies. In this study, it was aimed to determine of Ni and Cr accumulation from geogenesis origin to spectral signatures of sugar beet leaves by using Landsat – 7 ETM⁺ multispectral image in TURKEY - Konya region. The mean values of the spectral reflections of sugar beet belonging to normal parcels and contaminating parcels were statistically compared with the ANOVA test ($p < 0.05$). The study results showed the change in ~ 560 – 630 – 780 nm wavelengths with graphical comparison of the mean reflectance, but, we determined that this change was not due to the heavy metal content of the soil and there was no statistically significant difference in the leaf spectral reflectances compared to the non-contaminated zones. Thus, it is necessary to examine the content of other nutrient elements affecting the mean reflection, and, depending on the risk of continuation of heavy metal accumulation, it is recommended to analyze the soil of the region periodically.

Key words: ANOVA, Heavy metal, Landsat – 7, Spectral reflectance, Sugar beet,

Giriş

Ağır metal terimi Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, As ve Zn gibi yoğunlukları $> 5.0 \text{ mg m}^{-3}$ olan metalik elementler için kullanılmaktadır (SSSA, 2008). Ağır metaller; madencilik çalışmaları, gübre ve pestisitler, sanayi atıkları ve hidrokarbon yanma ürünleri (insan aktiviteleri) ile su, hava ve toprağa ulaşabildiği gibi toprak ana materyalinin ayrışma prosesleri (jeokimyasal origin) olarak da birikim gösterebilmektedir (Navarro-Pedreño et al. 2008). Günümüzde özellikle yoğun tarımsal faaliyet yürütülen alanlarda tespit edilen ağır metal birikimi ya da potansiyel kirlilik eğilimi pek çok araştırmaya konu olmuştur (Kemper and Sommer, 2002; Nobi et al. 2010; Chen et al. 2012; Zuzana et al. 2013; Zhou et al. 2018). Ağır metallerden çinko, mangan, kobalt, bakır, nikel ve molibden bitki gelişimi için mutlak gerekli iken alüminyum, vanadyum, arsenik, civa, kurşun ve kadmiyum toksik etkilidir. Bitki gelişimi için mutlak gerekli element olsun veya olmasın ağır metallerin doku ve organlardaki aşırı birikimi bitkilerin vejetatif ve generatif organlarının gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir (Gür ve ark., 2004). Aynı zamanda ağır metallerin toprakta birikmesinin sadece verimliliğe değil tüm ekosistem üzerine olumsuz etkileri olduğu belirtilmektedir (Demirtaş ve ark., 2016). Nitekim ağır metaller ile kontamine olmuş topraklarda yapılan bitkisel üretimler gıda zincirine dâhil olmakta, insan ve hayvan sağlığı başta olmak üzere tüm canlı sistemlerini olumsuz olarak etkilemektedir. Bu nedenle toprak ortamına doğal ve / veya yapay yollarla katılabilen ağır metallerin kontaminasyonu ve yayılımı başta tarım arazileri olmak üzere tüm çevresel yönetimler açısından kontrol ve takip edilmesi zorunlu konulardan biridir (Peng et al. 2009; Zhao et al. 2012). Bu zorunluluktan yola çıkarak günümüzde ağır metal kirliliği bulunan veya kirlilik potansiyeli yüksek olan alanların pratik, hızlı ve çevre dostu metotlar ile izlenmesine ve belirlenmesine olanak sağlayan spektral teknikler farklı çalışmalarda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Demotes et al. 2008). Spektral tekniklerin geniş alanlarda uygulanmasına olanak sağlayan en yaygın kullanım şekli ise çok bantlı (multispectral)

uydu görüntülerinden elde edilen spektral yansıma ölçümleridir (Jackson, 1986; Shou et al. 2007; Jia et al. 2011). Bu çalışmalara, ağır metal kontaminasyonu olan bölgelerde yetiştirilen bitkilerin klorofil ve polifenoller gibi bazı yaprak pigmentlerinin elektromanyetik spektrumun görünür – yakın kızılötesi dalga boylarındaki spektral imzalarında meydana gelen değişimlerin istatistiksel olarak incelenmesine yönelik yaklaşımlar esas teşkil etmektedir (Wójtowicz et al. 2016; Maimaitiyiming et al. 2017). Ağır metal toksitesinin bitkilerde transpirasyon, stoma hareketleri, su alımı, fotosentez, enzim aktivitesi, çimlenme, protein sentezi, membran stabilitesi, hormonal denge gibi birçok fizyolojik olayın bozulmasına neden olduğu ve bu olumsuzlukların direk ya da dolaylı olarak klorofil sentezini geriletlediği, buna bağlı yaprak spektral yansımalarında anlamlı değişimler meydana geldiği belirtilmektedir. (Kennedy and Gonsalves, 1987; Takeda et al. 2004). Nitekim Cd, Cu ve Ni ağır metalleri ile kontamine olmuş topraklarda yetiştirilen Soya fasulyesinin yaprak spektral yansımalarında meydana gelen değişim Landsat 7 uydu görüntüsü ile araştırılmış ve Cu - Ni ile Yeşil (520-600 nm) - yakın kızılötesi (770-900 nm) dalga boylarında sırasıyla; $r^2 = 0.95 - 0.99$ pozitif yönlü korelasyon olduğu, Cd ile yakın kızılötesi dalga boyu bandının $r^2 = 0.85$ oranında pozitif yönlü korelasyon gösterdiği bildirilmiştir (Horler et al. 1980). Benzer şekilde, Zn kirliliği olan topraklarda yetiştirilen çay yapraklarının spektral yansıma oranlarının, kirlilik olmayan bölgelere göre VNIR spektrum aralığında farklılık gösterdiği, yaprak Zn içeriği ile 970 nm (NIR) dalgaboyu arasında yüksek korelasyon olduğu ($r^2 = 0.98$) ve yansıma değerleri ile laboratuvar analiz sonuçlarının regresyon analizi sonucu $r^2 = 0.92$ doğruluk katsayısı ile tahmin modeli geliştirildiği bildirilmiştir. (Shin et al. 2017).

Bu bilgiler ışığında çalışma ile Konya – Çumra bölgesinde jeogenesis kaynaklı Ni ve Cr ağır metal birikiminin, bölgede geniş bir alanda yetiştirilen şeker pancarı bitkisi yapraklarının spektral imzasına etkilerinin Landsat-7 ETM⁺ çok bantlı uydu görüntüsü ile belirlenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

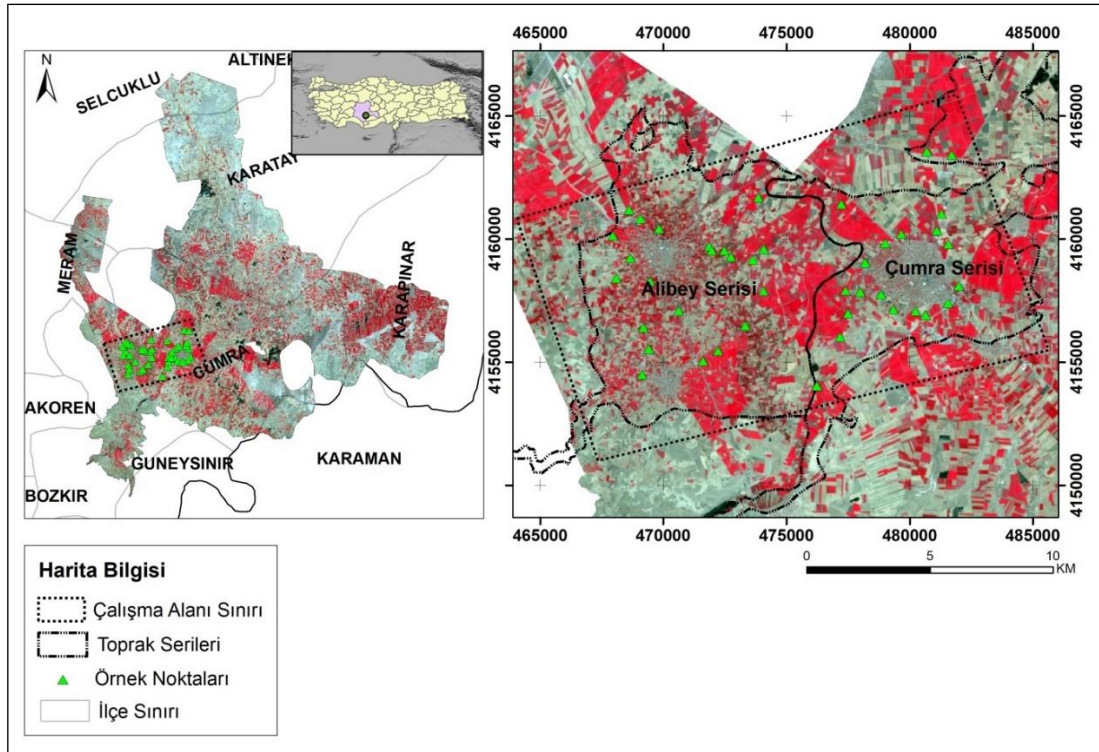
Materyal

Araştırma materyalini Ağustos – 2012 tarihli Landsat – 7 ETM⁺ çok bantlı uydu görüntüsü, aynı tarihte farklı şeker pancarı parsellerinden 0- 30 cm derinlikten alınan 42 adet toprak örneğine ait Ni ve Cr ağır metal içerikleri ve seçilen parsellerde yetiştirilen şeker pancarı yapraklarına ait görünür (Green – Red) ve yakın kızılötesi (NIR) dalga boylarındaki yansıma değerleri oluşturmaktadır.

Çalışma Alanının Coğrafi Özellikleri

Çalışma Konya – Çumra ovasının güney batı yönünde sırasıyla Çarşamba ve May nehri alüvyal yelpazeleri olarak tanımlanan Çumra ve Alibey serilerinde (De Meester, 1970) seçilen 20.000 ha büyüklüğündeki test alanında yürütülmüştür. Çarşamba nehri Orta Torosların kuzey kenar eteklerinde bulunan ve çoğunluğu volkanit formasyonlar barındıran Hacımer Dağından ilk kaynaklarını almaktadır. Benzer volkanit formasyonları barındıran Güney Batı

Torosların eteklerinden doğan birçok derenin suları ile May nehri meydana gelmektedir. Her iki akarsu Çumra ovasının güney batısından ovaya dâhil olmaktadır. Kaynakları ve akış yönleri boyunca magmatik veya metamorfik kayaları ve bu kayaç silsilesinin ürünü olan serpantinli materyali uzun yıllar boyunca ovaya taşımış ve birikimini sağlamışlardır (Tapur, 1998). Nitekim Serpantinli topraklar ultrabazik kayaların aşınması ile oluşmakta (Kruckeberg, 2002) ve içerisinde yüksek miktarda Ni ve Cr ağır metalleri ihtiva etmektedirler (Rajakaruna and Boyd, 2014; Özdeniz ve ark., 2017). Bölge fizyografik olarak homojen, düz aluviyal ova yapısındadır. Çalışma alanı, 37° 35' - 37° 32' Kuzey enlemleri ile 32° 35' - 32° 50' Doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1). Araştırma sahasının deniz seviyesinden yüksekliği 1010 m - 1030 m arasında değişmektedir. Bölgede yıllık ortalama yağış miktarı 296.8 mm, yıllık sıcaklık ortalaması 11.4 °C, yıllık buharlaşma miktarı ise 996.60 mm'dir (MGM, 2015).



Şekil 1. Çalışma alanı coğrafi konumu
Figure 1. Location map of study area

Parsel seçimi ve topraklar özellikleri

Çalışma alanı topraklarının tekstürü kil ve siltli killi tın arasında değişmekte olup, toprakların kil içeriği % 28.08 ile % 72.0 arasında. Organik madde içeriği %0.23 ile % 3.72 arasında az – yeter seviyesindedir. Tüm örneklerde yüksek kireç içeriği belirlenmiş ve kireç miktarı %16.30 ile %77.94 arasında değişmektedir. Topraklar 113 - 328 $\mu\text{S cm}^{-1}$ elektriksel iletkenlik değerleri ile tuzsuz olarak sınıflandırılmış ve pH 7.82 - 8.23 arasında hafif alkali karakteristiktir. Şeker pancarı yetiştiriciliği yapılan parsellerin seçimi ve toprak örnekleme için Ağustos ayı en uygun zaman olarak belirlenmiştir. Nitekim Çumra bölgesinde Ağustos ayı şeker pancarı için kök şişirme periyodunun ortasına tekabül etmekte (Anonim, 2012) ve bitki yapraklarının olgunlaşmasını tamamlayıp en yüksek genişliğe ulaştığı dönem olarak bilinmektedir (Faberio et al. 2003). Bu durum bitki yapraklarının alt toprak yansımaları da engellemesi sayesinde, uydu görüntüleri ile çalışmanın en uygun zamanı olarak belirlenmiştir. Toprak örnekleme için belirlenen parsellerden 0-30 cm derinlikte 42 farklı noktadan örnekler alınmış ve el GPS kullanılarak koordinatları kaydedilmiştir. Topraklarda organik madde ve kil minerallerinin yüzeyde fazla olması, ağır metal birikimini de yüzeye yakın olan yerlerde meydana getirmektedir (McGowen et al. 2001). Bu nedenle çalışmada üst toprak örnekleri ile çalışılmıştır. Topraktaki toplam Ni ve Cr konsantrasyonları için toprak örnekleri dördü asit karışımı (HNO_3 - HClO_4 - HF - HCl) içinde çözülmüş ve ICP-MS cihazında (Acme Analytical Laboratories, Kanada) belirlenmiştir (Wong et al. 2003). Elde edilen ağır metal içeriklerinin Çevre ve Şehircilik Bakanlığı

AB Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinin Topraktaki Ağır Metal Sınır Değerleri (Resmi Gazete, 2005) baz alınarak değerlendirilmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Topraktaki ağır metal sınır değerleri

Ağır Metal (Toplam)	pH 5- 6 mg . kg ⁻¹	pH>6 mg . kg ⁻¹
Krom	100	100
Nikel	30	75

Uydu görüntüsü seçimi ve özellikleri

Çalışmada şeker pancarı yapılarına ait spectral yansıma değerlerinin belirlenmesinde Ağustos-2012 tarihli Landsat 7 ETM⁺ çok bantlı uydu görüntüsü kullanılmıştır. Yapılan araştırmalarda, bitkilerde ağır metal stresinin belirlenmesinde Landsat-7 ETM⁺ uydu görüntülerinin VNIR bantlarının kullanılabilir olduğu belirtilmektedir (Filchev and Roumenina, 2012; Jin and Zhang, 2017). Landsat-7 ETM⁺ uydu görüntüleri 8 bit radyometrik ve 30 m spektral çözünürlüğe sahip olup, 7 multispektral, 1 pankromatik bantta görüntü alabilen ve parsel bazlı bitki spektral yansımalarına yönelik çalışmalarda güvenilir bir şekilde kullanılabilir olduğu belirtilen verilerdir (Ferreira et al. 2018). Araştırma için seçilen parsel büyüklükleri 30-150 da arasında değişmekte olup Landsat 7ETM⁺ çok bantlı uydu görüntüsünde en küçük parsel 33 piksel, en büyük parsel 166 piksel alan yer kaplamakta ve yansıma değerlerinin çıkarımı için yeterli büyüklüktedir (Morissette et al. 2006). Görüntüye ait bantlar ve çözünürlükleri Çizelge 2'de sunulmuştur (USGS, 2018).

Çizelge 2. Landsat 7 sensör özellikleri

Table 2. Landsat 7 sensor features

Sensör	Bantlar	Dalgaboyu (nm)	Çözünürlük (metre)
ETM ⁺	Bant 1 - Blue	450-520	30
	Bant 2 - Green	520-600	30
	Bant 3 - Red	630-690	30
	Bant 4 - Near Infrared (NIR)	770-900	30
	Bant 5 - Shortwave Infrared (SWIR) 1	1550-1750	30
	Bant 6 - Thermal	1040-1250	60
	Bant 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2	2090-2350	30

Yöntem

Uydu görüntüsünde ön işlemler ve yansıma oranı dönüşümleri

Uydu görüntülerinde radyometrik ve geometrik düzeltmeden oluşan ön işlemler *Erdas Imagine 9* (Erdas, 2009) görüntü işleme yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Bu amaçla orijinal görüntüde atmosfer ve sensörden kaynaklı gürültülerin giderilmesi için bulanıklık azaltma (Haze Reduction) ve gürültü giderme (Noise Reduction) işlemi olan radyometrik düzeltme algoritmaları uygulanmıştır. Ayrıca geometrik distorsiyonların giderilmesi için el GPS' i ile

alınan koordinatlar kullanılarak geometrik düzeltme yapılmıştır. Daha sonra belirlenen 42 farklı şeker pancarı parseline ait ortalama piksel değerleri *Erdas Imagine 9* programının *Focal Analysis* algoritması kullanılarak hesaplanmıştır. Uydu görüntüsüne ait yeşil – kırmızı ve yakın kızılötesi bantlar için piksel değerlerinden (Digital Numbers - DN's) spektral yansıma oranlarının türetilmesinde öncelikle aşağıdaki formül ile atmosferik düzeltme yapılmış ve radyans değerleri hesaplanmıştır (TopOfAtmosphere). Belirtilen eşitlikler *ArcGIS 9* programının *Raster Calculator* aracı ile uygulanmıştır (ESRI, 2004).

$$L_{\lambda} = \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{QCALMAX - QCALMIN} \right) \cdot (DN_s - QCALMIN) + LMIN_{\lambda}$$

Burada,

L_{λ} = Her bir piksel için Top-of-Atmosphere spektral radyans değeri [$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$],
DN's (Digital Numbers) = Uydu görüntüsünü oluşturan her bir piksel bit değeri.

$LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda} = QCALMAX$ ve $QCALMIN$ ile ölçeklenmiş spektral radyasyon değerleri Çizelge 3'de sunulmuştur (USGS, 2018).

$QCALMIN$ = En küçük kalibre edilmiş piksel değeri = 1

$QCALMAX$ = En yüksek kalibre edilmiş piksel değeri = 255

Daha sonra TOA radyans değerlerinin her bir piksel için yansıma oranlarına dönüştürülmesinde aşağıdaki formül kullanılmıştır (USGS, 2018).

Çizelge 3. ETM + Spektral Radyans Aralığı
Table 3. ETM + Spectral radiance range

1 Temmuz 2000 sonrası görüntüler için		
Bantlar	LMIN	LMAX
1	6.2	293.7
2	6.4	300.9
3	5.0	234.4
4	5.1	241.1
5	1.0	47.57
6	0.0	17.04
7	0.35	16.54
8	4.7	243.1

Burada,

P_{λ} = Her bir piksel için yansıma oranı [%],

Π = Matematiksel sabiti (3.14159265358),

L_{λ} = TOA radyans dönüşümü sonucu üretilen raster veri,

d^2 = Dünya-Güneş uzaklığı (Bu değer uydu verisi ile birlikte gelen metadata dosyasından elde edilmektedir. Çalışma alanına ait uydu görüntüsü için $d^2 = 0.9989502$ olarak belirlenmiştir),

$ESUN_{\lambda}$ = Her bir banda ait ortalama spektral ışınım şiddeti [$W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$] (Bu değer aynı zamanda Çizelge 4'de sunulmuştur.

$\cos(\Theta_s)$ = Güneş ışınlarının düşey düzleme geliş açısı (Bu değer uydu verisi ile birlikte gelen metadata dosyasından elde edilmektedir. Çalışma alanına ait uydu görüntüsü için $\cos(\Theta_s) = 58.0216$ olarak belirlenmiştir).

Çizelge 4. ETM + solar spektral ışınım şiddeti
Table 4. ETM + solar spectral irradiances

Bant	Spektral Işınım [$W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$]
1	1970
2	1842
3	1547
4	1044
5	225.7
7	82.06
8	1369

İstatistik Analizler

Faklı bantlara ait şeker pancarı yapraklarından elde edilen yansımalara topraklardaki ağır metal içeriklerinin etkisi arasındaki istatistiksel olarak anlamlı farklılıkların düzeyini belirlemek için varyans analizi (ANOVA,) $p < 0.05$ önem seviyesi ile *Minitab* (Minitab Inc., 2014)

istatistik programı ile gerçekleştirilmiştir (Arellano et al. 2015).

Bulgular ve Tartışma

Çalışma alanından alınan toprak örneklerinin Ni ve Cr içeriklerine ait tanıttıcı istatistikler Çizelge 5’ te sunulmuştur.

Çizelge 5. Çalışma alanı topraklarının ağır metal içerikleri

Table 5. Heavy metal contents of study area

Element	Ni (mg.kg ⁻¹)						Cr (mg.kg ⁻¹)					
	N	Ort.	StSp.	Var.	Min.	Max.	N	Ort.	StSp.	Var.	Min.	Max.
Lokasyon												
Çarşamba	20	74.0	21.25	451.7	40.2	108.9	22	107.5	25.39	644.6	62.0	160.0
May	22	113.9	14.89	221.8	83.0	145.0	22	132.1	29.59	875.4	90.0	155.0

AB Standartları Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğine göre araştırma parsellerinin 31’inde Ni ve 30’unda Cr ağır metallerinin beklendiği gibi bölgede Çarşamba ve May nehirlerinin membasi tarafından jeolojik formasyon kaynaklı bir

birikim oluşturduğu belirlenmiştir. Örnek lokasyonlarına göre ağır metal birikimi belirlenen alanların dağılımı ve ortalama spektral yansıma değerleri Çizelge 6’ da sunulmuştur.

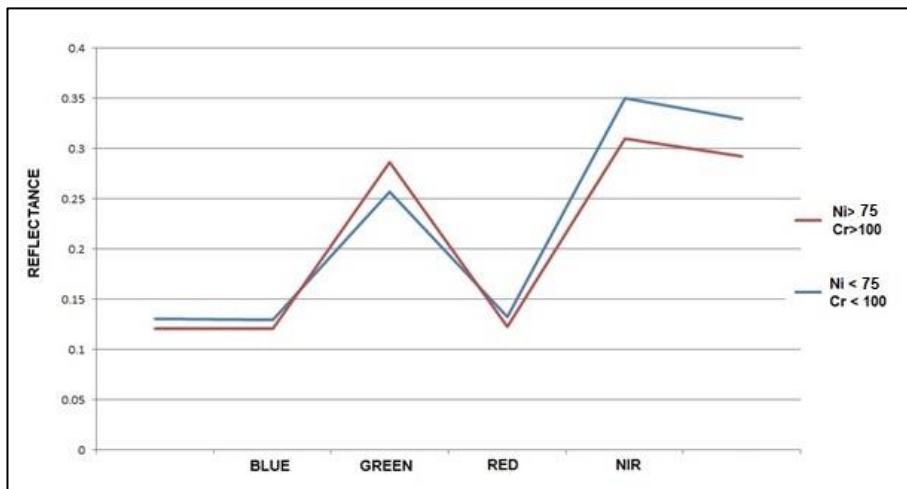
Çizelge 6. Ni ve Cr ağır metallerinin dağılımı

Table 6. Distribution of Ni and Cr heavy metals

Lokasyon	Ni > 75 mg.kg ⁻¹			Cr > 100 mg.kg ⁻¹		
Çarşamba	12			13		
May	19			17		
Bantlar	Blue	Green	Red	NIR	SWIR1	SWIR2
Ni < 75	0.130422	0.130422	0.2574	0.132695	0.34984	0.32984
Cr < 100	0.12055	0.12055	0.28615	0.12258	0.30985	0.29224

Çalışmada Ni ve Cr kontaminasyonu belirlenen parseller ile ağır metal birikimi olmayan alanların VNIR bölge ortalama

parsel yansıma değerleri karşılaştırılmış (Şekil 2) ve spektral imzalarda değişim olduğu belirlenmiştir.



Şekil 2. Toprak ağır metal içeriklerine bağlı yaprak spektral yansımaları

Figure 2. Leaf spectral reflections depending on the soil heavy metal contents

Elde edilen grafiğe göre yeşil dalga boyu tepesi (~ 560 nm), kırmızı kenar (red-edge) en düşük klorofil absorpsiyon yansıma noktası (~ 630 nm) ve yakın kızılötesi bölge omuz noktasında (~780 nm) meydana gelen değişimlerin spektral yansımalarında farklılık oluşturduğu ve özellikle klorofil pigmentine bağlı enerji absorpsiyonlarının azaldığı belirlenmiştir. Zhou et al. (2018), bitki spektral yansımalarında 550- 750 nm arasında meydana gelen değişimin ağır metallerin etkisi için bir gösterge olarak kabul edilebilir olduğu, ancak bitki gelişimini engelleyebilecek diğer stres faktörlerinin etkilerinin de dikkate alınarak istatistiksel olarak bu değişimin ilişkilendirilmesi gerektiği rapor edilmiştir. Nitekim 550 – 750 nm dalgaboyu yansıma oranlarındaki değişim fotosentez aktivitesi ile doğrudan ilişkilendirilmekte ve 570 nm dalgaboyu klorofil a ve b absorpsiyon bantı

olarak belirtilmektedir (Peñuelas et al. 1994; Kokaly and Clark, 1999; Skidmore, 2002). Benzer şekilde arsenik kirliliği olan topraklarda yetiştirilen pirinç bitkisinin yapraklarında meydana gelen klorofil deformasyonunun 640 – 732 – 752 nm dalga boylarında izlenebildiği belirtilmektedir (Li et al. 2015). Araştırmada türetilen ve bağımlı değişken olarak nitelenen yansıma değerlerindeki farklılaşmalar geçmiş çalışmalar ile benzerlik göstermektedir. Ancak spektral imzalarda meydana gelen değişimin toprakların Ni ve Cr içeriğine bağlı olup olmadığının değerlendirilmesi için uygulanan ANOVA testi sonucu Ni ve Cr ile kontamine olmuş topraklarda yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin yaprak spektral yansımalarında kontaminasyon olmayan bölgelere göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 7).

Çizelge 7. ANOVA testi sonuçları (p < 0.05)

Table 7. ANOVA test results (p < 0.05)

Ni vs GREEN	N	StDev	Mean	Grouping	Cr vs GREEN	N	StDev	Mean	Grouping
Ni > 75	34	0.0418	0.1644	A	Cr > 100	32	0.0404	0.1574	A
Ni < 75	8	0.0487	0.1723	A	Cr < 100	10	0.0398	0.1933	A
Ni vs RED	N	StDev	Mean	Grouping	Cr vs RED	N	StDev	Mean	Grouping
Ni > 75	34	0.1259	1.1943	A	Cr > 100	32	0.1295	0.2305	A
Ni < 75	8	0.0943	1.1930	A	Cr < 100	10	0.1071	0.1927	A
Ni vs NIR	N	StDev	Mean	Grouping	Cr vs RED	N	StDev	Mean	Grouping
Ni > 75	34	0.0814	0.4041	A	Cr > 100	32	0.1295	0.2305	A
Ni < 75	8	0.0867	0.3452	A	Cr < 100	10	0.1071	0.1927	A

Bu durum mevcut ağır metallerin bitkiler için alınabilir (çözünebilir) forma geçmediğini ve toksik etkilerinin olmadığını göstermektedir. Nitekim bölge topraklarının yüksek pH (> 7.5) değerli olması ağır metallerin toprak çözeltisine geçmemesindeki en önemli faktör olarak değerlendirilebilir. Topraklarda pH değerinin düşmesi ve asidik reaksiyon ağır metal hareketliliğini arttırmakta ve Mo hariç bitkiler tarafından alınabilirliğini kolaylaştırmakta, bazik reaksiyonlu topraklarda ise tam tersi bir durum

oluşmaktadır (Seven ve ark., 2018). Bununla birlikte topraklarda yüksek miktarda ağır metal birikimi bitkiler için mutlak gerekli besin elementlerinin alınımını azaltmakta ve mineraller arası antagonizm oluşturmaktadır. (Erdei, 1992; Krupa et al. 2002). Benzer sonuçlar bu alanda yürütülen geçmiş çalışmalarda da vurgulanmakta ve bitkilerin spektrumlarını birçok faktörün etkilemiş olabileceği, bu nedenle burada gösterilen spektral değişkenliğin potansiyel nedenlerini tanımlamak için daha fazla deney yapılması gerektiği belirtilmektedir (Zhou et al. 2018).

Sonuç

Araştırmada Landsat 7 ETM⁺ uydu görüntüsü VNIR dalgaboyu aralıklarından türetilen yaprak spektral yansımalarının, topraklarda bulunan ya da birikme eğiliminde olan ağır metallerin tespiti ve izlenmesinde fikir verme açısından kullanılabilir olduğu, ancak yansıma değerlerindeki değişimin ağır metaller ile ilişkilendirilmesi için özellikle kontrollü şartlarda yürütülecek çalışmaların yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca Ni ve Cr kirliliği belirlenen alanlarda yetiştirilen bitkilerin klorofil pigmenti ile ilişkilendirilen ~550 – 750 nm dalga boyu aralıklarında yaprak yansıma oranlarına gözle görülür etkisi belirlenmiş ancak ağır metal içeriklerinin istatistiksel olarak anlamlı etkileri bulunamamıştır. Bu durumda ortalama yansıma değerlerinde grafiksel olarak meydana gelen değişimin doğrudan Ni ve Cr kaynaklı olmadığı ancak yaprak spektral yansımalarına etki eden diğer besin elementi içeriklerinin bu değişimin nedeni olarak ayrıca incelenmesi gerektiği belirlenmiştir. Bununla birlikte ağır metal birikiminin devam etmesi riskine bağlı olarak bölge topraklarının belli aralıklar ile analiz edilmesi çalışma sonucu önerilmektedir.

Kaynaklar

- Anonim 2012. <http://www.konyaseker.com.tr/Upload/Files/seker-pancari.pdf>.
- Kemper, T. and Sommer, S. 2012. Estimate Of Heavy Metal Contamination in Soils After a Mining Accident Using Reflectance Spectroscopy. *Environmental Science & Technology*, 36 (12): 2742-2747.
- Arellano, P., Tansey, K., Balzter, H. and Boyd, D.S. 2015. Detecting the Effects of Hydrocarbon Pollution in the Amazon Forest Using Hyperspectral Satellite Images. *Environmental Pollution*, 205, 225-239.
- Chen, B.C. Lai, H.Y. Juang, K.W. 2012. Model Evaluation of Plant Metal Content and Biomass Yield for The Phytoextraction of Heavy Metals by Switchgrass. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 2012 (80): 393–400.
- De Meester, T. 1970. Soil Map of the Great Konya Basin, Turkey. Agricultural University, Wageningen.
- Demirtaş, E.I., Nuri, A.R.I., Özkan, C.F. ve ASRİ, F.Ö. 2016. Domates Yetiştiriciliğinde Kentsel Katı Atık Kompost Kullanımının Verim Kalite ve Ağır Metal Kirliliği Üzerine Etkileri. *Derim*, 33 (1): 144-158.
- Demotes-Mainard, S., Boumaza, R., Meyer, S. ve Cerovic, Z.G. 2008. Indicators of Nitrogen Status for Ornamental Woody Plants Based on Optical Measurements of Leaf Epidermal Polyphenol and Chlorophyll Contents. *Scientia Horticulturae*, 115 (4): 377-385.
- ERDAS, 2009. User's Guide. <http://www.erdas.com>.
- ESRI, 2004. ArcGIS Desktop Developer Guid: ArcGIS 9.1. ESRI, Redlands, CA, 335pp.
- Faberio, C., Martin de Santa Olalla, F., Lopez, R., Dominguez, A. 2003. Production and Quality of the Sugar Beet Cultivated Under Controlled Deficit Irrigation Conditions in a Semi-Arid Climate. *Agric. Water Manage.*, 10 (62): 215-227.
- Ferreira, G., Cayford, E.L., Feng, L., Shao, Y. and Casares, M.I. 2018. Use of Satellite Remote-Sensing Techniques to Predict the Variation of the Nutritional Composition of Corn (*Zea mays* L) for Silage. *Maydica*, 61 (1): 6.
- Filchev, L. ve Roumenina, E. 2012. Detection and Assessment of Abiotic Stress of Coniferous Landscapes Caused by Uranium Mining (using multitemporal high resolution Landsat data). *Geography, Environment, Sustainability*, 5 (1): 52-66.
- Gür, N., Topdemir, A., Munzuroğlu, Ö. ve Çobanoğlu, D. 2004. Ağır Metal İyonlarının (Cu^{+2} , Pb^{+2} , Hg^{+2} , Cd^{+2}) *Clivia* sp. Bitkisi Polenlerinin Çimlenmesi ve Tüp Büyümesi Üzerine Etkileri. *FÜ Fen ve Matematik Bilimleri Dergisi*, 16 (2): 177-182.
- Jackson R.D. 1986. Remote Sensing of Biotic and Abiotic Plant Stress. *Annual*

- Review of Phytopathology, (24): 265–286.
- Jia L., Yu Z., Li F., Gnyp M., Koppe W., Bareth G., Miao Y., Chen X., Zhang F. 2011. Nitrogen Status Estimation of Winter Wheat by Using an IKONOS Satellite Image in the North China Plain. *Computer and Computing Technologis in Agriculture V. 5 th IFIP TC5/SIG 5,1 Conference, CCTA 2011 Beijing, Cina, October 2011 Proceedings, Part II.*
- Jin, M., Liu, X. and Zhang, B. 2017. Evaluating Heavy-Metal Stress Levels in Rice Using a Theoretical Model of Canopy-Air Temperature and Leaf Area Index Based on Remote Sensing. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10 (7): 3232-3242.
- Kennedy, C.D. and Gonsalves, F.A.N. 1987. The Action of Divalent Zinc, Cadmium, Mercury, Copper and Lead on the Trans-Root Potential and H⁺, efflux of Excised Roots. *Journal of Experimental Botany*, 38 (5): 800-817.
- Kokaly, R.F. and Clark, R.N. 1999. Spectroscopic Determination of Leaf Biochemistry Using Band-Depth Analysis of Absorption Features and Stepwise Multiple Linear Regression. *Remote Sens. Environ.* 1999 (67): 267–287.
- Krupa, Z., Siedlecka, A., Skorzynska-Polit, E. and Maksymiec, W. 2002. Heavy Metal Interactions with Plant Nutrients. In *Physiology and Biochemistry of Metal Toxicity and Tolerance in Plants* (pp. 287-301). Springer, Dordrecht.
- Li, X., Liu, X., Liu, M., Wang, C. and Xia, X. 2015. A Hyperspectral Index Sensitive to Subtle Changes in the Canopy Chlorophyll Content Under Arsenic Stress. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, (36): 41-53.
- Maimaitiyiming, M., Ghulam, A., Bozzolo, A., Wilkins, J. L. and Kwasniewski, M. T. 2017. Early Detection of Plant Physiological Responses to Different Levels of Water Stress Using Reflectance Spectroscopy. *Remote Sensing*, 9 (7): 745.
- MGM, 2015. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara
- Minitab, I. 2014. MINITAB Release 17: Statistical Software for Windows. *Minitab Inc, USA.*
- Morisette, J.T., Jarnevich, C.S., Ullah, A., Cai, W., Pedelty, J.A., Gentle, J.E., Stohlgren, T.J., Schnase, J.L. 2006. A Tamarisk Habitat Suitability map for the Continental United States. *Front. Ecol. Environ.*, 4 (2006): 11-17.
- Nobi, E.P., Dilipan, E., Thangaradjou, T., Sivakumar, K., Kannan, L. 2010. Geochemical and Geo-Statistical Assessment of Heavy Metal Concentration in the Sediments of Different Coastal Ecosystems of Andaman Islands, India. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 2010 (87): 253–264.
- Özdeniz, E., Özbey, B.G., Kurt, L. ve Bölükbaşı, A. 2017. Serpantin Ekolojisi ve Türkiye Serpantin Florası'na Katkıları. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 5 (1): 22-33.
- Peng, J.F., Song, Y.H., Yuan, P., Cui, X.Y. and Qiu, G.L. 2009. The Remediation of Heavy Metals Contaminated Sediment. *Journal of Hazardous Materials*, 161 (2-3): 633-640.
- Peñuelas, J., Gamon, J.A., Fredeen, A.L., Merino, J., Field, C.B. 1999. Reflectance Indices Associated with Physiological Changes in Nitrogen- and Water-Limited Sunflower Leaves. *Remote Sens. Environ.*, 1994 (48): 135–146.
- Seven, T., Can, B., Darende, B.N. ve Ocak, S. 2018. Hava ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1 (2): 91-103.
- Shin, J.H., Yu, J., Kim, S., Shin, H. and Koh, S.M. 2017. Relationship Between Spectral Reflectance and Metal Content of Korean Pine Needles as a Metal Contamination Indicator. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2017 IEEE International* 6166-6169.
- Shou, L.N., Jia, L.L., Cui, Z.L., Chen, X.P., Zhang, F.S. 2007. Using high-resolution satellite image to evaluate nitrogen status of winter wheat in the

- North China Plain. *Journal of Plant Nutrition* 30(10), 1669–1680.
- Takeda, A., Kimura, K. and Yamasaki, S.I. 2004. Analysis of 57 Elements in Japanese Soils, with Special Reference to Soil Group and Agricultural Use. *Geoderma*, 119 (3-4): 291-307.
- Tapur, T. 1998. Eski Konya Gölü ve Çevresinin Fiziki Coğrafya Özellikleri. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 87 sayfa, Selçuklu-Konya.
- USGS, 2018. LANDSAT 7 (L7) Data Users Handbook, U.S. Geological Survey (USGS) Landsat Project Science Office at the Earth Resources Observation and Science (EROS) Center in South Dakota.
- Wójtowicz, M., Wójtowicz, A. and Piekarczyk, J. 2016. Application of Remote Sensing Methods in Agriculture. *Communications in Biometry and Crop Science*, 2016 (11) 31-50.
- Wong, K. K., Lee, C. K., Low, K. S. and Haron, M. J. 2003. Removal of Cu and Pb from Electroplating Wastewater using Tartaric Acid Modified Rice Husk. *Process Biochemistry*, 39 (4): 437-445.
- Zhao, H., Xia, B., Fan, C., Zhao, P. and Shen, S. 2012. Human Health Risk From Soil Heavy Metal Contamination under Different Land Uses Near Dabaoshan Mine, Southern China. *Science of the Total Environment*, 2012 (417): 45-54.
- Zhou, C., Chen, S., Zhang, Y., Zhao, J., Song, D. and Liu, D. 2018. Evaluating Metal Effects on the Reflectance Spectra of Plant Leaves during Different Seasons in Post-Mining Areas, China. *Remote Sensing*, 10 (8): 1211.
- Zuzana, L., Lukáš, B., Lucie, K., Veronika, K., Markéta, P., Jan, M. and Jana, A. 2013. Detection of Multiple Stresses in Scots Pine Growing at Post-Mining Sites Using Visible to Near-Infrared Spectroscopy. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 15 (11): 2004-2015.