TOPRAK TUZLULUĞUNUN CHRIS PROBA VERİSİ KULLANILARAK HARİTALANMASI

O. Şatır, S. Berberoğlu
Çukurova Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Adana. osatir@cu.edu.tr

ÖZET

Ülkemizde, özellikle Çukurova gibi yoğun tarımsal faaliyetlerin yapıldığı bölgelerde yanlış alan kullanımları ve tarımsal uygulamalar sonucu toprak tuzluluğu problemi ortaya çıkmaktadır. Bu sorunlu alanların tespit edilmesi ve izlenmesi, geleceğe yönelik sürdürülebilir tarım politikaları geliştirilmesi açısından önemlidir. Bu çalışmanın amacı, günümüzde kullanımına başlanan hiperspektral uydu teknolojisinden yararlanarak toprak tuzluluğunun, indikatör tarımsal ürünler yardımıyla haritalanmasıdır. Bu kapsamda, Nisan ve Ekim 2009 tarihlerinde Çukuova Bölgesi Yemişli pilot alanı için CHRIS PROBA hiperspektral algılayıcısına ait verilerden yararlanılmıştır. Ön işlemlerin; i) noise etkisinin azaltılması, ii) radyometre ölçümleri yardımıyla atmosferik ve iii) geometrik düzeltme işlemlerinin yapılması, yanı sıra uydu geçişiyle eş zamanlı arazi çalışmaları yapılmış ve topraktaki elektrik iletkenliği EM 38 ECa ile yapılmıştır. Toplam 70 noktadan alınan örnekler standardize edilerek ECe değerlerine dönüştürülmüştür. Elde edilen bu yer veri seti buğday ve pamuk ürünlerinin yansıma değerleri ile adımsal regresyon (stepwise, backward and forward regression) yöntemleri kullanılarak ilişkilendirilmiştir. Belirlenen en uygun modeller uygulanarak, Nisan ve Ekim 2009 tarihlerine ait toprak tuzluluğu haritaları üretilmiştir. Arazi ölçümlerinden elde edilen ve doğrulama amaçlı kullanılan verilerle yapılan karşılaştırmalar sonucunda, Nisan 2009 verisi 0.87 ve Ekim 2009 verisi 0.92 korelasyonla haritalanmıştır. Ayrıca pamuk ürününün buğdaya göre daha iyi bir tuzluluk indikatörü olduğu saptanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Toprak Tuzluluğu, Hiperspektral Algılayıcılar, Çevresel İzleme

ABSTRACT

Soil salinization as a result of improper land use and agricultural practices, occurs in the areas of intensive agricultural activities such as, Çukurova Region in Turkey. Monitoring and detecting of soil salinity are very important to develop sustainable agricultural stategies for future. The aim of this research was to establishment an approach for the assessment of soil salinity dynamics using CHRIS PROBA sensor imageries and spectral characteristics of indicator crops. In this respect, April and October 2009 images of CHRIS PROBA acquired over Yemisli Region in Karataş, Adana were utilized to estimate the salinity. Pre-processing techniques including; i) noise reduction, ii) atmospheric correction using spectroradiometer measurements and iii) geometric correction were applied, in addition to field works implemented on the days of image acquisition to measure Electrical Conductivity (EC) using EM 38 portable device. EM 38 records from 70 points were converted to ECe values for standardization. These measurements were correlated with wheat and cotton reflectance values using stepwise, backward and forward regression techniques. Soil salinity of April and October 2009 were mapped using the most accurate models. Model results were compared with ground measurements to derive the accuracy, as a result of this assessment correlation coefficient of April and October 2009 images were 0.87 and 0.92 respectively. Additionally, reflected signals of cotton were more accurate salinity indicator than wheat.

Keywords: Soil salinity, hyperspectral sensors, environmental monitoring

1. GİRİŞ

Uzaktan algılanmış veriler, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve simülasyon modelleri konumsal ve zamansal olarak toprak tuzluluğunun değerlendirilmesi için uygun imkanlar sağlamaktadır. Görünür (G), kızılötesi (YKÖ) ve orta kızıl ötesi (OKÖ) (400 – 2500nm) toprak yansımaları, toprak özelliklerinin sayısal analizine olanak sağlamaktadır (Ben-Dor et al., 1999, 2002). Uzaktan algılama teknolojisinin toprak tuzluluğuyla ilgili çalışmalarda kullanılması, teknolojik gelişmelere parallel olarak bir çok avantajıda beraberinde getirmiştir. Son 20 yıl içinde bir çok bilimsel çalışma, toprak tuzluluğunun haritalanması ve risk yönetimi için uzaktan algılamanın faydalarını tanımlamıştır (Mougenot et al., 1993; Metternicht, 1996; Metternicht and Zinck, 2003; Farifteh et al., 2006). Algılayıcıların yansıma ve konumsal çözünürlükleri, toprak tuzluluğunun tespit edilmesinde ve izlenmesinde önemli rol oynar. Çalışmaların büyük bir çoğunluğu, toprak tuzluluğunu tanımlamak için konumsal ve yansıma çözünürlüğü orta düzeyde olan (Landsat TM/ETM, ASTER, SPOT) uydu algılayıcılarına odaklanmaktadır. Ancak, son zamanlardaki hyperspectral çalışmalar, toprak tuzluluğu ve topraktan veya bitkiden yansıyan elektromanyetik enerjinin arasındaki ilişkiyi ispatlamaktadır. Çok yüksek çözünürlükteki optik hiperspektral algılayıcılar, çok sayıda yansıma aralığını kaydedebildiği

için toprak yüzeyinin özelliklerinin belirlenmesinde multispektral algılayıcılardan daha etkilidir. Farklı görüntüleme tekniklerinden elde edilen hiperspektral veriler kurak ve yarı kurak bölgelerde, toprak tuzluluğunun haritalanması ve analizi de dahil olmak üzere bir çok çalışmada başarıyla kullanılmaktadır (Chabrillat et al., 2002; Ben-Dor et al., 2006). Tuzluluk çalışmaları genellikle AVIRIS (Crowley, 1993; Whiting and Ustin, 1999), DIAS 7915 (Schmid, 2005) ve HyMap (Koch et al., 2006) gibi hiperspektral hava fotoğraflarıyla gerçekleştirilmiştir.

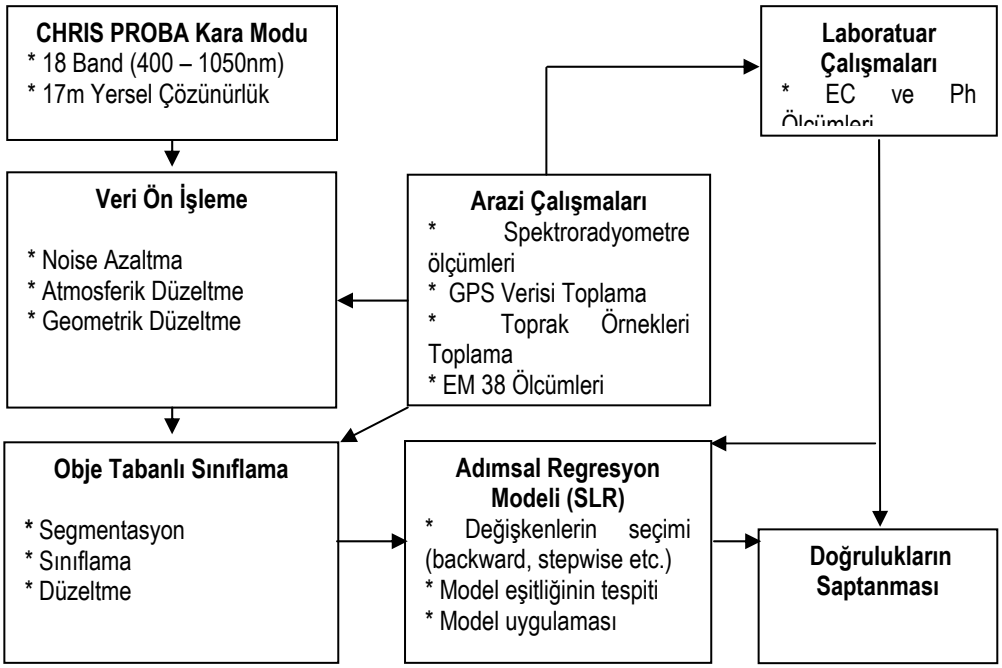
İki deneysel hiperspektral algılayıcı 2000 yılından sonra yörüngede çalışmaya başlamıştır. Bunlardan birisi olan Hyperion NASA tarafından EO-1 platformu üzerine oturtulmuş ve 30m yersel çözünürlükte, 242 yansıma bandıyla 400 – 2500nm aralığında kayıt yapabilmektedir. Diğer algılayıcısı ise Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından PROBA platformu üzerine oturtulmuş CHRIS algılayıcısıdır ve 5 farklı açıdan 5 farklı modda kayıt yapabilmektedir. 18 yansıma aralığı içeren mod 3 kara algılayıcısı 17 m yersel çözünürlükte 13X13km genişliğindeki bir alanı tarayabilmektedir. Yine bir başka kara modunda 34-36m yersel çözünürlükte 63 yansıma aralığını kaydedebilmektedir. Tüm modlar 410-1050nm aralığında kayıt yapmaktadır. Hyperion ve CHRIS verileriyle çok sınırlı sayıda tuzlulukla ilgili çalışma yapılmıştır (Dutkiewicz, 2006, Schmid et al., 2007).

Bu araştırmanın amacı, CHRIS PROBA hiperspektral verisi kullanılarak, tarım alanlarında toprak tuzluluğunu tahmin etmek için toprak tuzluluğu ve tarımsal ürünlerin yansıma özellikleri arasındaki ilişkiyi dikkete alan bir yaklaşım geliştirmektir. .

2. YÖNTEM

Çalışma 5 temel aşamadan oluşmaktadır (Şekil 1):

i) Arazi çalışmaları
ii) CHRIS verisinin ön işlemleri
iii) Obje tabanlı sınıflama
iv) Modelleme
v) Doğruluk analizleri

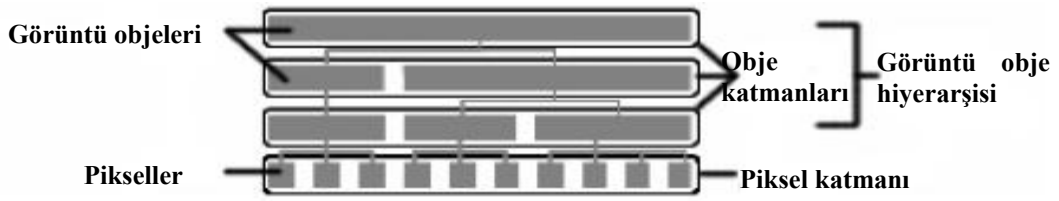


Şekil 1. Araştırmanın akış şeması

i) EC (tuzluluk) ölçümleri EM 38 aleti kullanılarak doğrudan toprak üzerinden yapılmıştır. Ölçüm yapılan bölgelerin koordinatları GPS kullanılarak belirlenmiştir. Ölçümler uydu geçişiyle eş zamanlı olarak yapılmıştır. EM 38 aletiyle yapılan ölçümler standart EC değerlerine dönüştürülmüş ve 0 – 20 cm lik toprak profilindeki EC değerleri toprak sıcaklığı ölçümleride kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca arazide spectroradiometre aletiyle ölçümler yapılarak atmosferik düzeltmenin doğruluğu test edilmiştir.

ii) CHRIS PROBA verisinin ön işlemleri noise etkisinin azaltılması, atmosferik ve geometric düzeltme aşamalarından oluşmaktadır. Uzaktan algılanmış hiperspektral verilerde 2 tür noise etkisine rastlanmaktadır. İlk etki çekim zamanına bağlı olarak oluşur ve düzensiz dağılım gösteren bir bozulma meydana getirir. Bunun nedeni yansıyan sinyalin zamanla gücünün azalması algılayıcının doğru kayıt yapamamasıdır (Aiazzi et al. 2002, Gomez et al. 2008). İkinci etki ise zamana bağlı değildir, daha çok çekim yapılan yüzeyle ilgilidir ve belirli bölgelerde yoğunlaşır (Barducci and Pippi. 2001). Bu çalışmada, CHRIS verisinin noise etkisinin giderilmesinde kullanılan, Gomez ve ark. (2008) ürettiği algoritma kullanılmıştır. Ayrıca, havadaki toz ve partiküllerden kaynaklanan görüntü bozulmaları meydana gelmektedir. Bu etkiyi düzeltmek ve atmosferik olayların etkisini azaltmak amacıyla Guanter ve ark. (2006) tarafından BEAM yazılımının bir modülünden yararlanılmıştır. Atmosferdeki su buharı ve toz etkisi bu yaklaşımlarla giderilerek sonuçların doğruluğu saptanmıştır. Araziden toplanan GPS referansları geometrik düzeltme için kullanılmıştır. Tüm geometrik düzeltmeler 0.5 pikselden daha az bir hatayla gerçekleştirilmiştir.

iii) Çalışmada ihtiyaç duyulan ürün desenini gösteren arazi örtüsü haritaları obje tabanlı yöntem ile oluşturulmuştur. Obje tabanlı sınıflama, arazinin formunu - şeklini, yansıma özelliklerini ve tekstürü dikkate alarak komşu pikselleri anlamlı bölgeler halinde gruplandırma ve gruplandırılmış bu bölgeleri en küçük sınıflama birimine dönüştürme prensibine dayalı olan bir yöntemdir (Berberoğlu ve ark., 2000). Böylece sınıflama piksel tabanlı değil parsel tabanlı olarak gerçekleştirilmektedir. Segmentasyon işlemi (parsellere ayırma) olarak isimlendirilen bu uygulamada istenirse çalışma için uygun olan bantlar diğer bantlara göre ağırlıklandırılabilir. Segmentasyon işlemi obje tabanlı sınıflamanın ilk ve en önemli aşamasıdır. Sınıflama aşamasında ise piksel tabanlı yöntemlerde olduğu gibi en yakın komşu yöntemi (nearest neighbour) ve diğer algoritmaları (örneğin, maksimum olabilirlik) kullanılmaktadır. Segmentasyon uygulamasından sonra bütün objeler birlikte görüntü obje katmanını oluşturur. İki ya da daha fazla obje katmanı obje hiyerarşisini oluşturur (Şekil 2).



Şekil 2. Görüntü obje hiyerarşisi

iv) Doğrusal regresyon bir bağımlı değişken olan Y ve tahmin edici bağımsız değişkenler olan x_i den oluşmaktadır (Chatterjee and Price, 1991):

$$Y = b_0 + b_1.x_1 + b_2.x_2 + \ldots + b_p.x_p \quad (1)$$

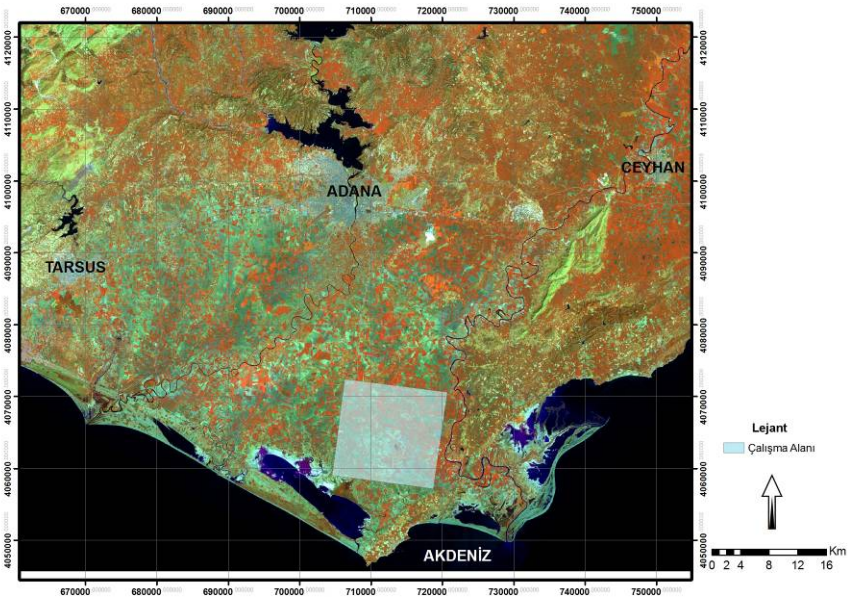
b_0 sabit değeri ve b_1 de $x1$ (yansıma bandı) in katsayısını ifade etmektedir. Doğrusal regresyonun en önemli avantajı kolay uygulanabilir olmasıdır. Çoklu regresyon yöntemi, uygulanabilir ve güvenilir bir yöntem olmasına karşın tüm tahmin değişkenlerinin birlikte kullanıması sonucu olumsuz etkileyebilmektedir (Berberoglu ve ark. 2009). Bu nedenle bazı değişkenler adımsal regresyon yöntemleri kullanılarak filtrelenmiştir. En anlamlı ve doğru model detereminasyon katsayıları ve tanımlama değerleri (alpha "p") göz önünde bulundurularak seçilmiş ve tuzluluk tahmininde kullanılmıştır.

v) Doğruluk analizleri araziden alınan gerçek verilerle tahmini verilerin korelasyonuna bakılarak belirlenmiştir. Korelasyon (R) ve determinasyon (R^2) katsayıları tespit edilmiştir.

3. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ ÖZELLİKLERİ

Çalışma alanı Doğu Akdeniz'de Aşağı Seyhan Ovası içerisinde bulunmaktadır. (Şekil 3). 14x14km'lik bir alanı kapsamaktadır. İklim genellikle kış aylarında nemli ve ılımandır. Alüvial topraklar bu bölgeyi verimli bir tarım arazisi yapmakta ve yılda 3-4 ürün alınabilmektedir. Bölgedeki ürün deseni; pamuk, buğday, mısır, soya, sebzeler ve turunçgildir. Çalışma alanı tuzluluk sorunu olan (EC>4) ve olmayan

(EC<4) alanları içermektedir. Güney bölgeleri Akdeniz'e yakınlığı nedeniyle kuzeyden daha tuzludur. Bu durum tüm Akdeniz Bölgesi'nde gözlenen tipik bir sorundur.



Şekil 3. Çalışma alanı ve yakın çevresi

CHRIS PROBA hiperspektral uydusuyla algılama ESA tarafından 22 Eylül 2001'de başlatılmıştır. Yüksek çözünürlü görüntü algılayıcısı CHRIS, PROBA platformu üzerine monte edilmiş bir sistemdir. CHRIS, çapraz ve düz tarama yapabilen bir uydudur. Aynı zamanda, tek bir geçişte 5 farklı açıdan görüntü alabilmektedir (Barnsley vd., 2004). Bu 5 görüntü arasındaki zaman farklılığı yaklaşık 3 dakikadır. 400nm ve 1050nm arasında (görünür ve kızıl ötesi) 1.25–11nm hassasiyetle farklı modlarda ölçüm yapabilmektedir. Yine ölçüm modlarına göre 18–62 adet elektromanyetik yansıma bandı kaydedebilir ve bu bantların yersel çözünürlüğü 17 ve 34 m'dir. Tarama genişliği 15x15km'dir (Tablo 1).

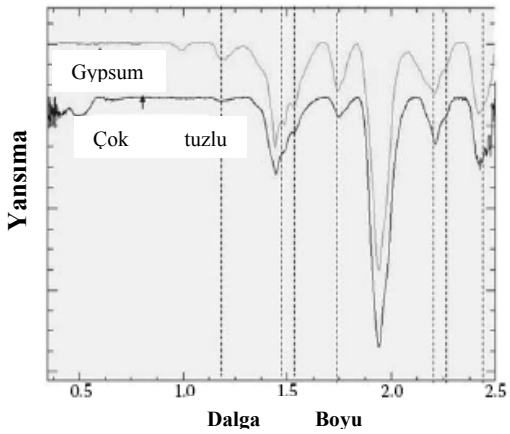
Tablo 1. CHRIS-PROBA Mod 3 Yansıma bandı özellikleri

Band	Min λ (nm)	Max λ (nm)	Mid λ (nm)	Width (nm)
B1	438	447	442	9
B2	486	495	490	9
B3	526	534	530	9
B4	546	556	551	10
B5	566	573	570	8
B6	627	636	631	9
B7	656	666	661	11
B8	666	677	672	11
B9	694	700	697	6
B10	700	706	703	6
B11	706	712	709	6
B12	738	745	742	7
B13	745	752	748	7
B14	773	788	781	15
B15	863	881	872	18
B16	891	900	895	10
B17	900	910	905	10
B18	1002	1035	1019	33

Spektroradiometre ölçümleri uydu verisinin geçişiyle eş zamanlı olarak MS 720 taşınabilir spektroradyometresi ile yapılmıştır. Bu radyometre CHRIS verisinin yansıma aralığıyla aynı bölgelerde kayıt yapabilmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Tuzlu topraklar özel bir yansımaya sahiptirler. Ben-Dor ve ark. (2008) göre 1400nm ve 2500nm arasındaki yansıma, toprak tuzluluğunun doğrudan algınabilmesi için çok önemlidir (Şekil 4). Ancak, CHRIS uydusu "G" ve "YKÖ" bölgelerindeki yansıyan elektromanyetik enerji dışında kayıt yapamamaktadır. Bu nedenle, bu araştırmada pamuk ve buğday yansımaları birer tuzluluk indikatörü olarak kullanılmıştır. CHRIS verisinin yüksek G ve YKÖ aralıklarındaki yansıma çözünürlüğü, toprak tuzluluğunun ürün yansımasına bağlı olarak kabul edilebilir bir doğrulukta tespit edilmesini sağlamaktadır.



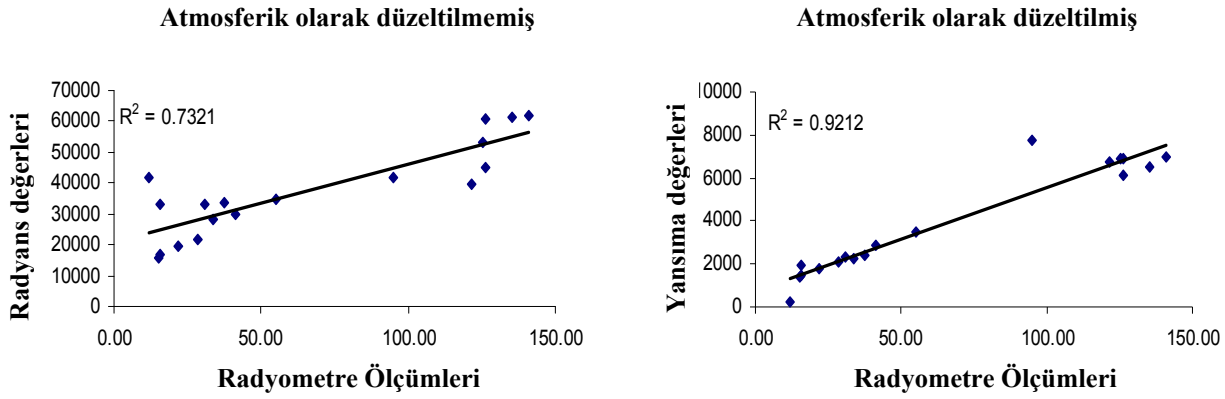
Şekil 4. Çok tuzlu toprak ve Gypsum yansıma özellikleri (Ben-Dor et al. 2008).

4.1. Ön İşleme

Görüntüler Universal Transverse Mercator (UTM) referans sistemine göre geometrik olarak düzeltilmiştir. En az 17 yer noktası kullanılmış ve 0.2 – 0.5 piksel civarında bir hatayla düzeltilmiştir.

Atmosferik düzeltme Görüntü tabanlı bir teknik olan Guanter ve ark. (2006) tarafından BEAM yazılımı için geliştirilen algoritma, CHRIS verilerinin atmosferik düzeltmesinde kullanılmıştır.

Atmosferik düzeltme yöntemleri her bölgede aynı doğrulukla sonuç vermemektedir. Bu nedenle çalışmanın daha sağlıklı yapılabilmesi için uygulanan algoritma test edilmiştir. MS 720 kullanılarak yapılan yersel yansıma ölçümleri ve aynı alanlara karşılık gelen CHRIS uydu verileri düzeltme öncesi ve sonrası olarak karşılaştırılmıştır (Şekil 5).

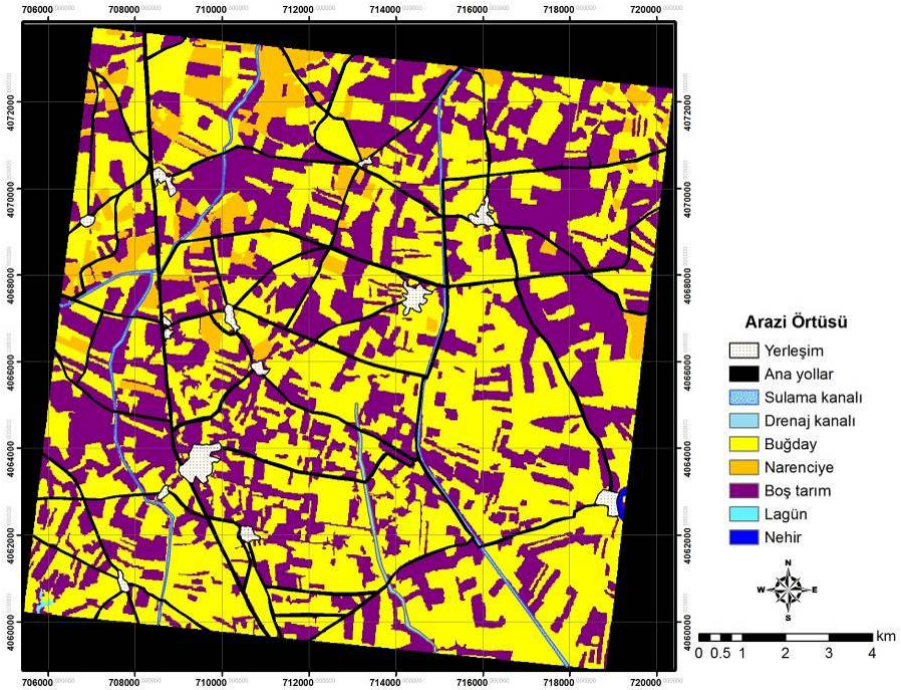


Şekil 5. Görüntü pikselleri ile radyometre ölçümleri grafiği

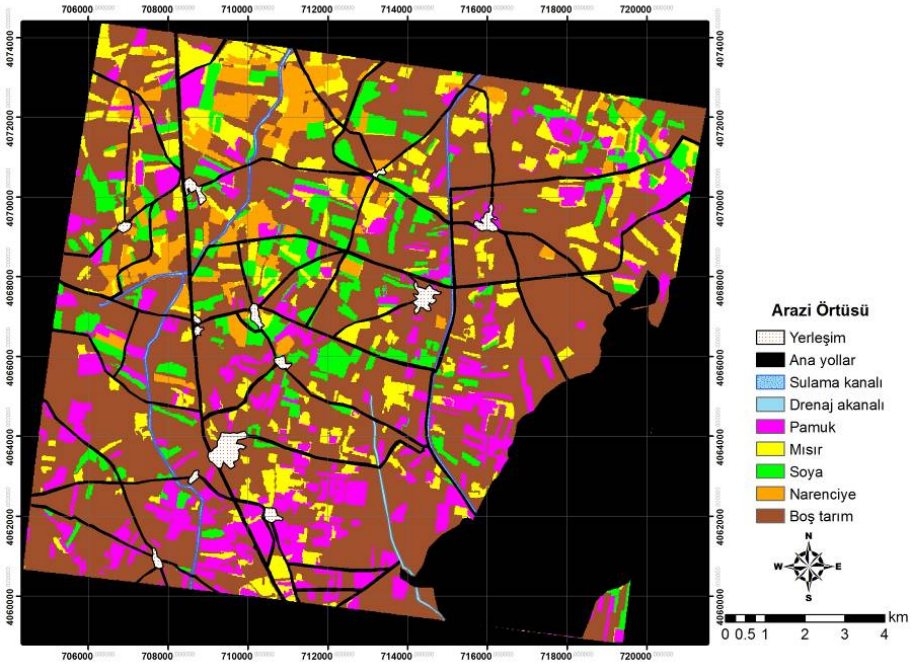
Gözlemlerden anlaşıldığı üzere, atmosferik düzeltme sonrasında yer verileri ve uydu görüntüsü arasındaki ilişki çok daha yakın olmaktadır. Atmosferik etkinin kullanılan düzeltme algoritması sonucu azaldığı R^2 değerlerinden açıkça anlaşılmaktadır. Düzeltilmemiş veri için R^2 değeri 0.73'den düzeltme sonrası 0.92'ye çıkmıştır.

4.2. Obje Tabanlı Sınıflama

Obje tabanlı kontrollü sınıflama Nisan ve Ekim 2009 tarihlerinde uydu geçişiyle eş zamanlı yapılan arazi verileri yardımıyla elde edilmiştir (Şekil 6-7). İlk aşamada görüntü segmentlerine ayrılmış ve parsel sınırları belirlenmiştir. İkinci aşamada, kontrollü sınıflama yöntemi maksimum olabilirlik algoritması olarak parsel tabanlı uygulanmıştır. Son aşamada yer verilerine bağlı olarak yanlış ve eksik sınıflanan yerler tespit edilmiş ve düzeltilmiştir.



Şekil 6. Nisan 2009 obje tabanlı sınıflama sonucu



Şekil 7. Ekim 2009 obje tabanlı sınıflama sonucu

4.3. Adımsal Regresyon Modeli Uygulaması (SLR)

Her görüntü için farklı SLR modelleri elde edilmiştir. Arazi çalışmalarından elde edilen EC değerleri CHRIS bantlarıyla ilişkilendirilmiştir (Tablo 2). Tahmin için kullanılacak 18 adet CHRIS yansıma bandı SLR tekniği kullanılarak hedef değişkenle (EC ölçümleri) arasındaki ilişkiye bağlı olarak filtrelenmiş ve her bir görüntü için tuzluluğu en iyi ortaya koyan bantlar belirlenerek tahmin için kullanılmıştır. Tüm SLR sonuçları P = 0.05 güven aralığında test edilerek elde edilmiştir. Belirlenen değişkenler arasındaki ilişkiler doğrultusunda en iyi tahmin modelleri tuzluluğun haritalanması için belirlenmiştir (Tablo 3).

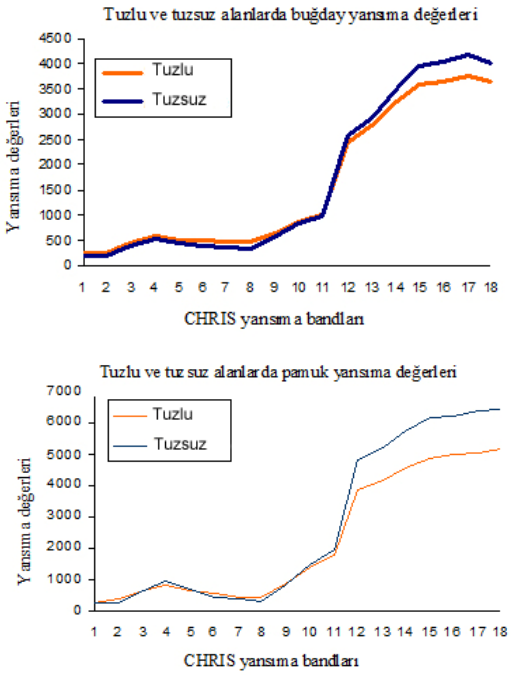
Tablo 2. SLR modeli özellikleri

TARİH	R	R^2	Alfa (P)	Std. tahmin hatası	F
22 NİSAN 2009	0.95	0.91	0.002	0.4	12.2
16 EKİM 2009	0.82	0.67	0.01	2.9	3.3

Tablo 3. Model bileşenleri ve değişken katsayıları.

TARİH	MODEL EŞİTLİKLERİ
22 NİSAN 2009	EC = -0.014 b2 – 0.017 b4 + 0.03 b5 + 0.019 b6 – 0.019 b9 + 0.001 b14
16 EKİM 2009	EC = -0.012 b1 – 0.041 b2 + 0.041 b3 + 0.018 b4 – 0.03 b5 + 0.045 b6 – 0.011 b8 – 0.006 b10 + 0.0004 b13 + 0.00002 b17 – 0.001 b18

SLR modeli eşitlikleri EC ölçümleri ve indicator bitki yansıma özellikleri kullanılarak üretilmiştir. Çalışma kapsamında pamuk ve buğday ürünlerinin tuzlu ve tuzsuz topraklarda farklı yansıma özellikleri gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 8). Tuzlu ve tuzsuz topraklardaki yansımalara göre özellikle YKÖ bçlgesinde (11 ve 18. bantlar arası) pamuk ve buğdaydaki yansımanın giderek azaldığı görülmektedir. Buna göre, toprak tuzluluğunun haritalanması için pamuktan yansıyan sinyaller buğdaya göre daha iyi bir indikatördür.



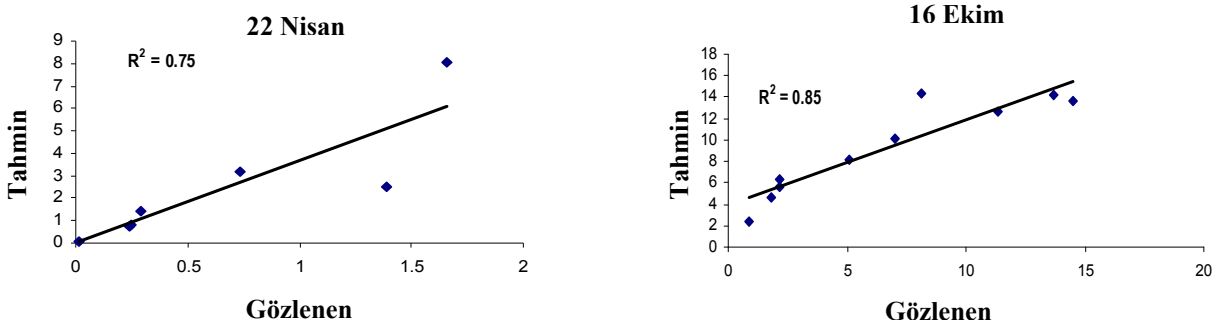
Şekil 8. Tuzlu ve tuzsuz topraklarda buğday ve pamuk ürünü yansımaları.

SLR modelinin uygulanması ve Nisan 2009 – Ekim 2009 tuzluluk haritaları şekil 10 ve 11'de görülmektedir. Tüm sonuçlar için arazi çalışmalarından toplanan ve test için ayrılmış verilerle doğruluk analizleri yapılmıştır. Buna göre, Nisan 2009 görüntüsünde buğdaydan elde edilen yansımalarla uygulanan SLR modelinin test verileriyle korelasyonu 0.87, Ekim 2009 görüntüsünde pamuktan elde edilen yansımalarla uygulanan SLR modelinin test verileriyle korelasyonu ise 0.92 olarak elde edilmiştir (Tablo 4).

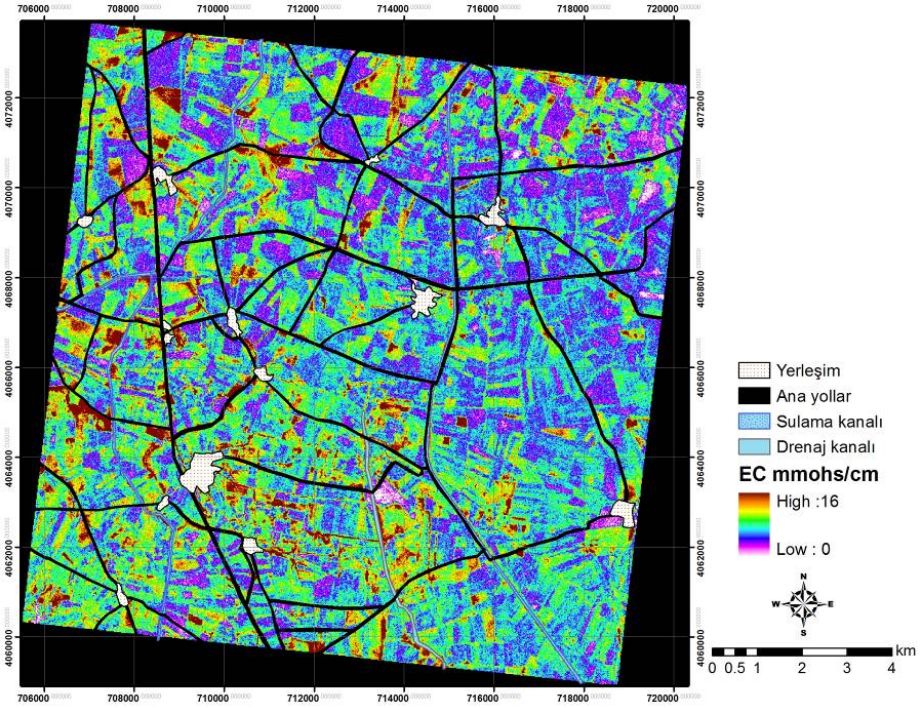
Tablo 4. Sonuçların korelasyon ve determinasyon katsayıları

VERİ	R	R^2
22 NİSAN 2009	0.87	0.75
16 EKİM 2009	0.92	0.85

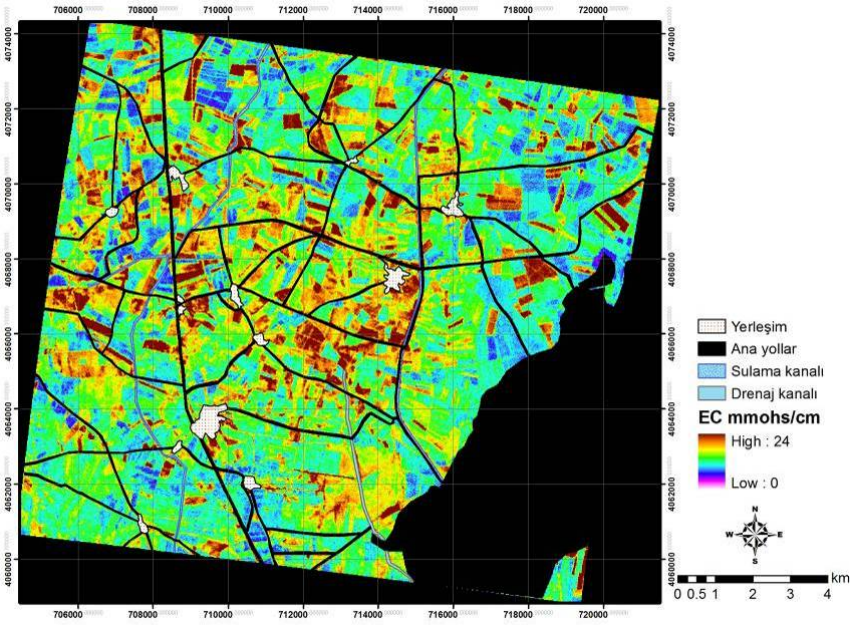
Test verileri eşitliklerinin belirlenmesinde kullanılmamıştır. Yalnızca doğrulama amaçlı kullanılmıştır. Doğruluk sonuçlarına göre SLR toprak tuzluluğunun CHRIS yansıma bandları ve pamuk – buğday indikatör tarım ürünleri kullanılarak haritalanmasında güvenilir sonuçlar vermektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Tahmin edilen ve gözlenen değerler arasındaki ilişki



Şekil 10. 22 Nisan 2009 Toprak tuzluluğu tahmin haritası



Şekil 11. 16 Ekim 2009 Toprak tuzluluğu tahmin haritası

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışma, CHRIS PROBA hiperspektral verisinin, Akdeniz tarım alanlarında toprak yüzey tuzluluğunu doğrusal modeler kullanarak haritalanabilirliğini ortaya koymaktadır. Uydu verileri bu amaç doğrultusunda sınırlı yer verisiyle değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın temel sonuçları:

- CHRIS PROBA verisi sahip olduğu geniş yansıma ve yersel çözünürlüğü ile toprak tuzluluğunun haritalanmasında önemli bir potansiyele sahiptir.
- SLR toprak tuzluluğunun CHRIS verisi kullanılarak haritalanmasında güvenilir bir yöntemdir. SLR modeli güvenilir bir sonuç üretmektedir, ancak çok sayıda arazi ölçümü gerektirmektedir.
- Özellikle Mavi (band 2-4) kırmızı (band 8-9) ve yakın kızıl ötesi bandlar (band 13 – 14) tuzluluğun haritalanmasında potansiyeli en yüksek aralıklar olarak belirlenmiştir.
- Ekim ayında belirlenen tuzluluk oranları Nisan ayına göre daha fazla olarak ölçülmüştür. Bunun nedeni Nisan ayındaki yağmurların ve yoğun sulamanın etkisidir. Ekim ayında ovada sulama büyük oranda yapılmamaktadır. Bu nedenle toprağın yıkanması söz konusu değildir. Bu nedenle çıkan sonuçlar anlamlıdır.
- Toprak yansıma etkisi tuzluluk haritasının doğruluğunu Ekim ayında bir miktar düşürmüştür. Bazı tuzlu olmayan topraklar bu nedenle tuzlu olarak tanımlanmıştır. Haritalama doğruluğunu arttırmak için yapay sinir ağları ve kısmi regresyon yöntemleri alternatif olarak uygulanabilir.

CHRIS hiperspektral verisi özellikle tuzluluğa dayanıklı pamuk bitkisinin yansımalarıyla ilişkilendirildiğinde basit modellerle yüksek doğrulukta tuzluluk tespit edilebilmektedir. Günümüzde hiperspektral uydu teknolojisi orta kızıl ötesi gibi yansıma aralıklarını sınırlı derecede kaydedebilmektedir. Hyperion hiperspektral uydusu orta kızıl ötesi aralığı kaydetmekle birlikte toprak tuzluluğunun doğrudan haritalanmasında yetersiz kalmıştır. İlerleyen dönemlerde bu teknolojinin gelişmesi ve 2014 yılı içerisinde Alman havacılık ve uzay merkezi – Avrupa Uzay Ajansı işbirliğiyle fırlatılması planlanan EnMap hiperspektral uydusunun bu alanda önemli bir potansiyeldir.

KAYNAKLAR

Aiazzi, L., Alparone, A., Barducci, S., Baronti, and Pippi, I. 2002. "Estimating noise and information for multispectral imagery," *Optical Engineering*. 41, 656–668.

Barducci, A., and Pipi, I. 2001. "Analysis and rejection of systematic disturbances in hyperspectral remotely sensed images of the Earth," *Applied Optics* 40, 1464–1477.

Barnsley, M.J., Settle, J.J., Cutter, M., Lobb, D. and Teston, F. 2004. "The PROBA/CHRIS mission: A low-cost smallsat for hyperspectral, multiangle, observations of the Earth surface and atmosphere," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 42(7), 1512–1520.

Berberoglu, S., Lloyd, C. D., Atkinson, P. M. and Curran, P. J. 2000. The integration of spectral and texture information using neural Networks for land cover mapping in the Mediterranean", *Computers and Geosciences 2000*.

Berberoglu, S., Satir, O. and Atkinson, P. M. 2009. Mapping percentage tree cover from Envisat MERIS data using linear and nonlinear techniques, *International Journal of Remote Sensing*, 30(18), 4747 — 4766.

Ben-Dor, E., Irons, J., Epema, G. 1999. Soil spectroscopy. In *Manual of Remote Sensing,* 3rd edn., A. Rencz (Ed.) John Walley & Sons, New York, pp. 111 – 188.

Ben-Dor, E. 2002. Quantitative remote sensing of soil properties. *Advantages in Agronomy* 75: 173 – 243.

Ben-Dor, E., Goldshleger, N., Mor, E., Mirlas, V. and Basson, U. 2008. "Combined active and passive remote sensing methods for assessing soil salinity: A case study from Jezre' el Valley, Northrn Israel. In *Remote Sensing of Soil Salinization* Metternich, G (ed)., Zinck, J.A. (ed) Taylor & Francis, Boca Raton, pp. 235 – 253.

Chabrillat, S., Goetz, A.F.H., Krosley, L. & Olsen, H.W. 2002. Ronda peridotite massif: Methodology for its geological mapping and lithological discrimination from airborne hyperspectral data. *International Journal of Remote Sensing.* 21, 2363 – 2388.

Chatterjee, S., Price, B. 1991. *Regression analysis by example*. Wiley: NewYork.

Crowley, J.K. 1993. Mapping playa evaporite minerals with AVIRIS data: A first report from Death Valley, California. *Remote Sensing of Environment* 44: 337–356.

Dutkiewicz, A. 2006. Evaluating hyperspectral imagery for mapping the surface symptoms of dryland salinity. Phd dissertation, University of Adelaide, Australia.

Farifteh, J., Farshad A., and George, R. 2006. Assessing salt affected soils using remote sensing, solute modeling and geophysics. *Geoderma* 130: 191 – 206.

Gomez, L., Alonso, L., Guanter, L., Camps, G., Calpe, J. and Moreno, J. 2008. "Correction of systematic spatial noise in push – broom hyperspectral sensors: application to chris proba images" *Applied Optics* 47, 46 – 60Matternick, G.I. and Zink, JA. 2003. Remote sensing of soil salinity: Potentials and constrains. *Remote Sensing of Environment* 85: 1 – 20.

Guanter, L., Richter R., Moreno J. 2006. "Spectral calibration of hyperspectral imagery using atmospheric absorption features. *Applied Optics* 45, 2360 – 2370.

Koch, M., Schmid, T., Gumuzzio, J., and Mather, P. 2006. Wetland feature extraction and change detection study of a playa lake environment in NE Spain using hyperspectral and multispectral images. In Second Recent Advances in Quantitative Remote Sensing, Ed. J.A. Sobrino. *Publicaciones de la Universitat de Valencia*, Spain, pp. 284–288.

Matternick, G.I. 1996. Detecting and Monitoring Land Degradation Features and Processes in the Cochabamba Valleys, Bolivia: A Synergistic Approach. ITC Publication 36, Enschede, the Nederlands.

Mougenot, B., Epema, G., and Pouget, M. 1993. Remote sensing of salt affected soils. *Remote Sensing Reviews* 7: 241 – 259.

Schmid, T.F. 2005. Integrated remote sensing approach to detect changes in semi-arid wetland areas in central Spain. *Colección Documentos CIEMAT*, Madrid, Spain.

Schimid, T., Gumuzzio, J., Koch, M., Mather, P., and Solana, J. 2007. Characterizing and monitoring sami – arid wetlands using multi-angle hyperspectral and mutispectral data. In *Proceedings Envisat Symposium 2007*, ESA SP-636. Montreux, Switzerland, pp. 1 – 6.

Whiting, M.L. and Ustin, S.L. 1999. Use of low altitude AVIRIS data for identifying salt affected soil surfaces in Western Fresno County, California. *In Proceedings of the Eighth JPL Airborne Visible Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Workshop*, Pasadena, CA, pp. 99–64.