

M. Tolga Esetlili
Fulsen ÖZEN
B. Nisa KANDEMİR
Yusuf KURUCU
Mustafa BOLCA

Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve
Bitki Besleme Bölümü, 35100 İzmir /Türkiye
e-posta:tolga.esetlili@ege.edu.tr

Uzaktan Algılama Tekniği ile Pamuk Tarla Verimi Tahmin Doğruluğunun Arttırılmasında Kırmızı Kenar (Rededge) Band Kullanımının Katkısı

Contribution of Red-edge Based Spectral Data for Improving
the Estimation of Cotton Yield by Remote Sensing Technique

Alınış (Received): 25.12.2014

Kabul tarihi (Accepted): 25.03.2015

Anahtar Sözcükler:

Uzaktan Algılama, Kırmızı Kenar, Verim,
RapidEye.

Key Words:

Remote Sensing, Red Edge, Crop Yield,
RapidEye.

ÖZET

Uydu görüntüleme sistemlerinde yersel ve tayfsal çözünürlük son yıllarda hızla yükseltilmektedir. Bu gelişim, uydu görüntülerinden tarımsal amaçla yararlanma düzeyini ve elde edilen veri doğruluğunu da arttırabilmektedir. Bugüne kadar uzaktan algılama tekniğinin tarımsal amaçla kullanımında, genellikle görünür bölge ve yakın-kızılötesi dalga boyundaki enerjilerden yararlanılmıştır. Ancak, son 5 yıldır geliştirilen kameralar tarafından başarıyla kaydedilen Kırmızı-Kenar(Rededge) enerjinin ürün deseni tanımlamaları ve ekili alan belirleme çalışmalarına katkı sağlayacağı beklenmektedir. Bu araştırmada, pamuk bitkisi Kırmızı-kenar (KK) bant yansıma değerleri ile tarla verimi belirlenmesi çalışmalarında bu bandın katkıları incelenmiştir. Çalışmada, her yıl arazide verim bilgilerinin de toplandığı, 2010 yılı ile 2014 yıllarını kapsayan son 5 yıllık Rapideye görüntüleri kullanılmıştır. Böylece, yıllara bağlı olarak değişen ekim zamanı, fenolojik süreç ve farklı iklim koşulların yansıma ve verime etkisi de dikkate alınmıştır. Araştırma sonucunda Yakın-Kızılötesi (YKÖ) yansıma verileri ile pamuk verimi arasında güçlü bir doğrusal ilişki belirlenirken ($R^2=0,64 - 0,73$), KK band yansıma verileri ile verim arasında da istatistiksel açıdan yüksek bir doğrusal ilişki olduğu saptanmıştır ($R^2=0,62 - 0,85$). Sonuç olarak, özellikle bitki verim ilişkilerinin ortaya konulması ve hassas bir şekilde belirlenebilmesi için tek başına YKÖ yansıma verilerinin yeterli olamayacağı ancak KK gibi bitkinin fizyolojik durumunu ortaya koyan bantların da işleme dahil edilmesiyle birlikte güvenilirliği ve doğruluğu yüksek oranlarda verim tahmini yapılabileceği anlaşılmıştır.

ABSTRACT

The spatial and spectral resolutions of satellite imaging systems have increased rapidly in recent years. This rapid development makes satellite images more useful for agricultural purposes and data accuracy. In general visible and near-infrared (NIR) wavelength portions of the electromagnetic spectrum are used in remote sensing in agricultural studies. However, it is expected that the use of Rededge(RE) energy will make valuable contribution to crop pattern defining and yield estimation studies at the cultivated areas. In this research, the contributions of the RE band uses were examined in the cotton yield estimation studies. Rapideye images, were used together with the annual yield information collected from the fields studies during the years 2010-2014. In this way, effects of changing planting times, phenological duration and different climatic conditions to reflectance and yield were considered. The research results showed that there is a linear relation between NIR reflection data and the cotton yield ($R^2=0,64 - 0,73$). Similarly, a statistically significant linear relation between RE band reflection data and the yield was also found ($R^2=0,62 - 0,85$). As a result, additional RE spectral data using together with NIR data can increase accuracy of the cotton yield estimation and can give more reliable results instead of using NIR reflection data alone.

GİRİŞ

Yeni nesil yüksek yersel, radyometrik ve spektral çözünürlüğe sahip yer gözlem uyduları ile uzaktan algılama tekniğinin tarım alanlarındaki kullanılabilirliği de artmaktadır. Çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri, ürün deseni tanımlanması, izlenmesi, hassas rekolte tayin edilebilmesi için geniş olanaklar sunmaktadır. Uydulardaki görüntüleme teknolojisinin gelişmesi ile birlikte belirlenebilen ürün çeşidi sayısı da artmaktadır. Böylece, sadece ürün bazında değil toprak, jeolojik yapı vb. öğelerle ilgili daha detaylı, güncel ve doğruluk oranı yüksek veri de üretilebilmektedir. Güncel ve doğruluğu yüksek veriler ile ulusal ve küresel anlamda daha etkili tarım politikalarının üretilebilmesi mümkün olmaktadır.

Uydu verileri kullanılarak yapılan çalışmalar, çoğunlukla geniş alanlara yayılan ve geleneksel yöntemler ile veri toplanması güç olan tarımsal alanlardaki ürün deseni ekili alanların belirlenmesi, izlenmesi ve sınıflandırılması üzerine yoğunluk göstermektedir (Murthy et al., 2003; De Wit and Clevers, 2004; Conrad et al., 2010; Conrad et al., 2011; Gumma et al., 2011; Förster et al., 2012; Esch et al., 2014; Zheng et al., 2015).

Gelişmiş kayıt teknolojileri ile elde edilen görüntülerin uygulamaya aktarılabilmesi için, görüntüleme kullanılan enerji dalga boyu aralıkları ile yeryüzü objelerinin yansıtma-absorblama arasındaki ilişkilerin inceleneceği araştırmaların yapılması gerekmektedir.

Tarım ürünlerinin verim düzeyi ile bitki biyofizik özellikleri arasında güçlü bir ilişki vardır. Bunlardan en sık kullanılan özellikleri yaprak alanı indeksi, bitkinin azot içeriği ve vejetatif gelişime bağlı toprağı örtme oranlarıdır (Bulcock and Jewitt, 2010; Fang et al., 2011, Herrmann et al., 2011; Peng and Gitelson, 2011; Bobée et al., 2012; Guindin-Garcia et al., 2012).

Bilindiği gibi bitkiler mavi ve kırmızı dalga boyundaki enerjinin büyük bir bölümünü absorbe ederken yeşil ve YKÖ banttaki enerjinin çoğunu yansıtırlar. Bilinen bu bandın yanında, kaydedilmesine ve kullanılmasına yeni başlanan kırmızı kenar (Red-edge) dalgaboyundaki enerji, bitkinin fizyolojik yapısı hakkında değerli bilgiler sunmaktadır (Daughtry et al., 2000). Kırmızı kenar dalga boyu aralığındaki yansıtma değerleri daha çok klorofil ve azot içeriklerine, yeşil alan indeksine ve bitki dokusuna ile yakından ilişkilidir (Herrmann et al., 2010; Peng et al., 2011; Vina et al., 2011; Mitchell et al., 2012).

Kanke et al. (2012), kış buğdayındaki azot (N) içeriği farklılıklarını tespit etmek için kırmızı kenar ve NDVI

indekslerini karşılaştırmışlardır. Bitki büyüme evrelerinde NDVI değerlerinin yaprak azot içeriği ile ilişkilerindeki korelasyon düzeyi ileri fenolojik dönemlerinde düşerken KK bandının hassasiyetinin halen devam ettiğini saptamışlardır (Li et al., 2014; Kross et al., 2015).

Ekonomik değeri yüksek ve ülkemiz tarım ürünleri içerisinde stratejik öneme sahip bazı tarım ürünleri rekoltelevlerinin hasat öncesi belirlenmesi, başta iç piyasa fiyatlarının oluşturulması olmak üzere, yurt dışı temin ya da ihraç politikaları için de çok önemlidir. Ülkemizde bu alanda yapılan çalışmalar hızlı bir artış göstermekle birlikte kullanıcıya sunulan ve kaydedilmesine yeni başlanan enerjilerin yansıma ve verim ilişkileri üzerine çalışmaların yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, Ege Bölgesinde farklı yerlerde pamuk bitkisinin tarla verim bilgileri ile RapidEye uydu görüntülerinde özellikle kırmızı kenar ve yakın kızılötesi spektral bantlarındaki yansıma özellikleri aralarındaki ilişkiler istatistiksel olarak araştırılmıştır. Araştırmada, son 5 yıl (2010–2014) alınan RapidEye uydu görüntüleri ile bunların görüntüleme zamanında yerinde yapılan ölçümler ile tarla düzeyinde elde edilmiş verim bilgileri kullanılmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Araştırma Alanı

Araştırma alanını, Ege bölgesinde yoğun olarak tarımı yapılan pamuk ekili alanlar oluşturmaktadır. Bu alanlar, Kuzeyde Dikili-Bergama, Doğuda Salihli-Alaşehir ve Güneyde ise Akdeniz bölgesine sınır oluşturan Muğla-Fethiye'ye kadar uzanmaktadır (Şekil 1). Araştırmada, Manisa, İzmir, Muğla ve Aydın illeri pamuk ekili alanlarında seçilen test parselleri kullanılmıştır. Çoğu yerde münavebeli tarım uygulaması içerisinde yer alan pamuk bitkisi ekili alanlarından seçilen test parselleri, her yıl aynı bölgeler içerisinde olacak şekilde belirlenmiştir.

Araştırma materyalini, 2010–2014 yıllarına ait tüm Ege bölgesinde dağılım gösteren pamuk ekili alanları ile pamuk bitkisinin vejetatif gelişimine bağlı olarak 2010 – 2014 yılları Ağustos aylarında çekilen 5 yıllık RapidEye uydu görüntüleri oluşturmaktadır (Şekil 2).

RapidEye uydusunun kamera sistemi ile yeryüzünden yansıyan görünür bölge enerjileri yanında kırmızı kenar ve yakın kızılötesi enerjiler de kayıt edilmektedir. RapidEye uydusu kamera kayıt özellikleri Çizelge 1' de verilmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası
Figure 1. Location map of study area



Şekil 2. YKÖ, KK, ve GK bantları ile oluşturulan kompozitte ürün deseninin görünümü (Pamuk; sarı tonları, Mısır; Kırmızı tonları, Anız veya boş toprak; mavi-yeşil renk tonları ile görülmektedir)

Figure 2. A RapidEye image that shows crop pattern of study area, with in NIR, RE and VR band composition (Cotton; yellow, Maize: Red, Harvested area and bare soil; blue-green color)

Çizelge 1. RapidEye uydusu algılayıcı özellikleri

Table 1. RapidEye Satellite Sensor Specifications

Spektral Bantlar	Dalgaboyu (nm)
Mavi	440 – 510
Yeşil	520 – 590
Kırmızı	630 – 685
Kırmızı Kenar	690 – 730
Yakın Kızılötesi	760 – 850

Pamuk bitkisi tarla verim bilgileri ile Kırmızı Kenar (KK) ve Yakın Kızılötesi (YKÖ) bantlardaki spektral yansıma değerleri arasında ilişkinin saptanmasına yönelik olarak yapılan bu araştırma, laboratuvar ve arazi çalışmaları ile tamamlanmıştır. Laboratuvar çalışmalarında, çalışma bölgelerine ait sayısal altlık haritanın hazırlanması, RapidEye uydu verileri için temel görüntü işleme aşamaları (rektifikasyon, zenginleştirme vb.), Kırmızı Kenar ve Yakın Kızılötesi bantlardaki spektral değerlerin parsel bazında belirlenmesi ile doğrudan arazi çalışmaları sonucunda saptanan tarla verim bilgileri ve tüm bu verilerin istatistiksel olarak analiz edilmesi aşamalı olarak tamamlanmıştır. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü ile İzmir Ticaret Borsası işbirliği ile 2000 yılından itibaren her yıl gerçekleştirilen “Ege Bölgesi Pamuk Ekili Alanları ve Ürün Rekoltesinin Uzaktan Algılama Tekniği Kullanılarak Belirlenmesi” projesi kapsamında yapılan arazi çalışmaları ile yaklaşık 250 tarlada verim ölçülmektedir. Bu projede, önceki yıllarda tarla verimi ölçülmüş ve koordinat bilgileri kaydedilmiş tarlaların bazıları test parselleri olarak kullanılmıştır. Pamuk ekili alanları ve rekoltesinin belirlendiği bu proje, son 5 yıldır RapidEye uydu görüntüsü kullanılarak başarılı bir şekilde yapılmaktadır. Projede kullanılan uydu görüntüsü bant

kompozitleri içerisinde KK bandının bulunmasına rağmen, rekolte hassasiyetine olan katkısı ölçümlenmemiştir. Koordinat bilgileri alınarak yerinde tarla verimi ölçülen parsellerden tüm Ege Bölgesi’ni temsil edebilecek konumda ve farklı verime sahip tarlalar bu projede kullanılmak üzere seçilmiştir. Önceki yıllarda tarla verim tespitleri yapılan parsellerden 2010 yılı için 75, 2011 için 72, 2012 için 71, 2013 için 45 ve 2014 için 70 adet olmak üzere toplam 333 adet tarla istatistiki değerlendirme için seçilmiştir.

Tarla bazındaki verimin belirlenmesi için sırasıyla şu işlemler yapılmıştır; öncelikle 20 metre tarla kenar uzunluğundaki sıra sayısı ve bir sıra üzerinde 10 metre mesafede pamuk bitki sayısı en az 10 sırada belirlenmiştir. Daha sonra yine 10 sırada, tesadüfen seçilen 10 adet pamuk bitkisindeki koza adedi sayılmıştır. Bu bitkilerin alt bölümünden üst bölümüne doğru 10’ar adet koza alınarak çiğitli olarak tartılmış ve ortalama bir kozanın ağırlığı hesaplanmıştır. Toplam koza adedi ile koza ağırlığı çarpılarak 200m² de toplam çiğitli üretim belirlenmiş daha sonra 5 ile çarpılarak dekara verim miktarı belirlenmiştir. Bu yöntem ile her test alanı için dekara kütlü pamuk verim bilgisi tespit edilmiştir (Şekil 3).

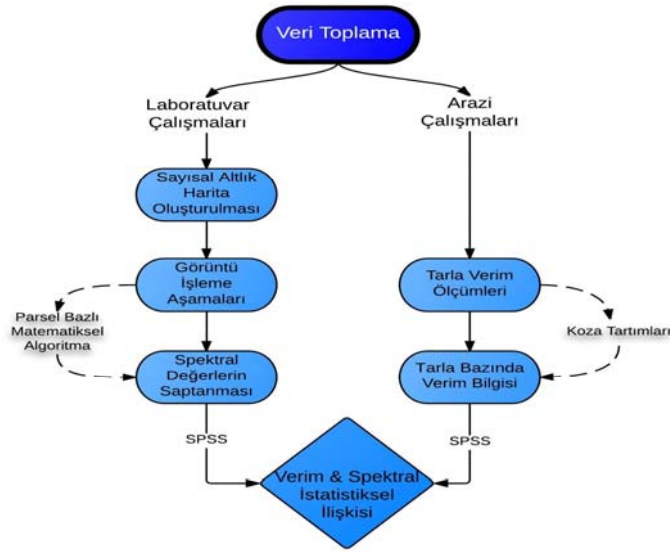


Şekil 3. Tarla bazında pamuk verim ölçümleri
Figure 3. Fieldwork for measuring of cotton yield harvest

Tarla verimi belirlenen parsellerin koordinat bilgileri kullanılarak ait olduğu yıla ait uydu görüntüsü üzerinde yerleri işaretlenmiştir. Verim bilgileri alınan tarlaların elektromanyetik spektrumun 690–730 nm (Kırmızı Kenar) aralığı ile 760–850 (Yakın Kızılötesi) aralığındaki yansıma değerleri, görüntü üzerinde PCI Geomatics yazılımı ve matematiksel algoritma kullanılarak belirlenmiştir. Tarla verimi belirlenen pamuk ekili parsellerin, KK ve YKÖ bantlardaki yansıma verilerinin belirlenebilmesi için, bu tarlalar içerisindeki üç farklı

noktadan toplam 27 piksel seçilmiştir. Bu piksellerin her bant için ortalama yansıma verileri hesaplanmış ve tarla verimi ile ilişkileri istatistiki olarak incelenmiştir (Şekil 4).

RapidEye uydu verilerini, diğer çok bantlı uydu görüntülerinden ayıran en önemli özelliği standart bantların yanı sıra bitkilerin biyofiziksel özelliklerine (klorofil içeriği, azot içeriği, yaprak alan indeksi vb.) duyarlı olan, kırmızı kenar bandına sahip ilk yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsü olmasıdır (Schuster et al., 2012).



Şekil 4. Araştırma yöntemi iş akış şeması

Figure 4. Flowchart of research methodology

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bugüne kadar uzaktan algılama tekniğinin tarımsal amaçla kullanımında, genellikle görünür bölge ve yakın-kızılötesi dalga boyundaki enerjilerden yararlanılmıştır. Özellikle, bitkilerin Azot içeriği ve bu bağlamda bitki verimi ile gelişiminin belirlenmesi çalışmalarında, NDVI (Normalized difference vegetative index) indeks verileri bütün dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu indekste gelenekseldi diyebileceğimiz pasif uzaktan algılama verilerinden YKÖ ve Görünür Kırmızı dalga boyundaki enerjilerin oranlanması sonucu oluşan indeks değerleri kullanılmaktadır. Fakat yapılan son çalışmalarda NDVI değerlerinin yüksek klorofil içeriği veya çok gelişmiş biomas gibi durumlarda iyi sonuç veremediğini veya başka bir deyişle hassasiyetinin düşük olduğunu tespit edilmiştir (Gitelson et al., 2002; Kanke et al., 2012). Örneğin, NDVI değerleri bitkinin yaprak şekline bağlı olarak bir büyüme evresinden diğer bir evreye geçtiğinde düşüşler gösterebildiğini ancak KK bantta bu dönemlerde hassasiyetin hala devam ettiği belirlenmiştir (Kanke et al., 2012). Kırmızı Kenar bölgesi (KKB) klorofil içeriğine, yaprak mezofil yapısına ve yaprak alan indeksine (LAI) karşı oldukça hassastır (Meer and Jong, 2006). Bunun dışında, yaprak şekli, güneş açısı ve toprak yansımaları gibi özellikle yakın kızılötesindeki değerlere etkili olan bu parametreler Kırmızı Kenar bölgesinde etkisini yitirmektedir. Bu nedenle, araştırmada, pamuk tarla verimi ve yansıtma değerleri arasındaki ilişkinin saptanması amacıyla oluşturulan RGB bant kompoziti içerisinde

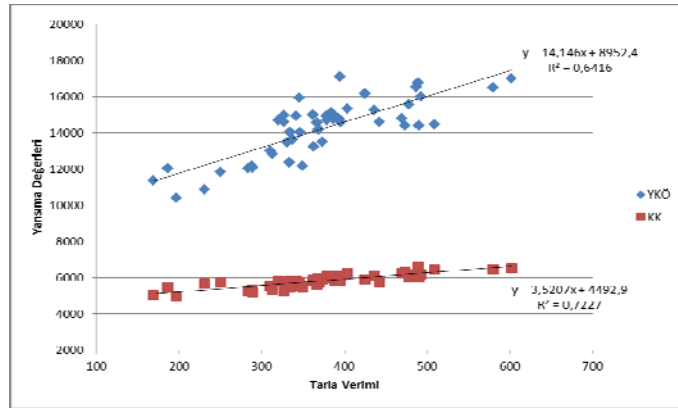
Görünür Kırmızı (VR) ve Yakın Kızılötesi (NIR) bantlarının yanında KK (Rededge) bandının da yer alması sağlanmıştır.

Kırmızı kenar bant içeren Rapideye uydu görüntülerindeki yansıma değerleri ile pamuk bitkisi tarla verimi arasındaki ilişkilerin incelenmesi için, 2010–2014 yıllarındaki her görüntü alım döneminde (Ağustos) arazi çalışmaları yapılmış ve her bir yıl için test noktalarına ulaşılarak dekara verim bilgisi ölçülmüştür.

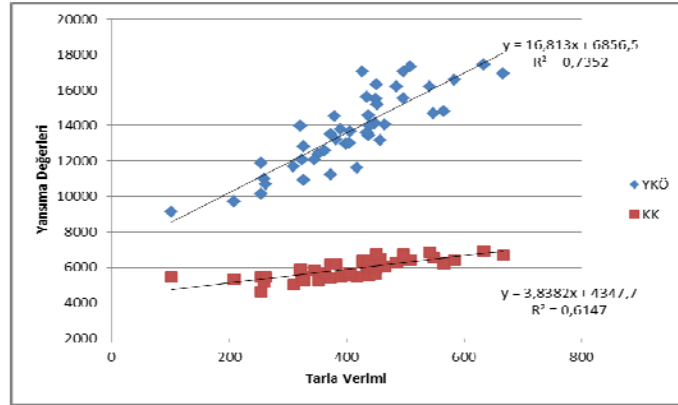
Yansıma verilerinden pamuk veriminin tahmin edilmesini amaçlayan bu çalışmada 5 yıllık veriler kullanılmıştır. Bunun sonucunda, 2010, 2011, 2012, 2013 ve 2014 yıllarında test parsellerine ait yerinde belirlenen tarla verim değerleri ile o yıla ait uydu görüntüsünden belirlenen KK ve YKÖ bantlarına ait yansıma değerleri arasında istatistiksel ilişki düzeyleri araştırılmıştır. Araştırma her yıl için ayrı değerlendirmeler şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Araştırma sonucunda, yakın kızılötesi yansımanın tarla verimi ile önemli ve pozitif yönde bir ilişkisi olduğu saptanırken, bazı yıllarda ilişki önem düzeyinin düşebildiği görülmüştür. Buna karşın, kırmızı kenar dalga boyundaki enerjiyi içeren bandın, verim ile önemli ve yıllar bazında istikrarlı bir istatistiksel ilişki olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, uydu görüntülerinden ürün rekoltesi tahminlerine yönelik bant kompoziti içerisinde YKÖ bandının yanında KK bandında kullanılması halinde verimin daha doğru tahmin edilebileceğini göstermektedir.

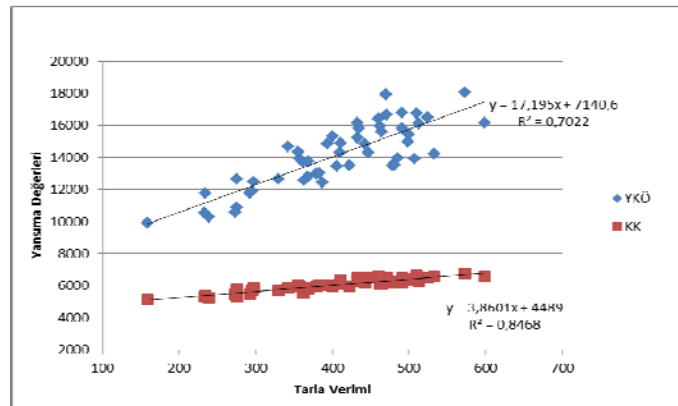
Aşağıdaki şekillerde (Şekil 5,6,7,8,9), 2010–2014 yılları arasında pamuk tarla verimi ile KK ve YKÖ bantlarına ait yansımaya değerleri arasındaki istatistiksel ilişkiler verilmektedir.



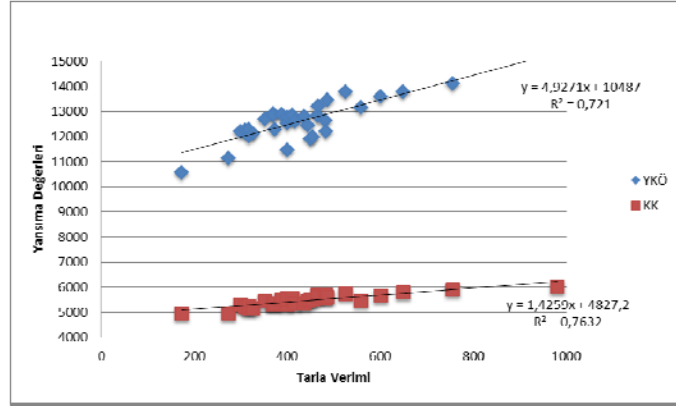
Şekil 5. 2010 yılı tarla verim verileri ve yansımaya değerleri arasındaki istatistiksel ilişki
Figure 5. Statistical relationship between crop yield and the reflectance values in 2010



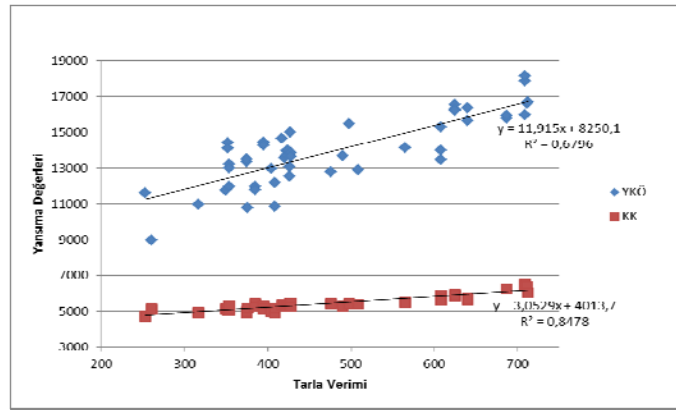
Şekil 6. 2011 yılı tarla verim verileri ve yansımaya değerleri arasındaki istatistiksel ilişki
Figure 6. Statistical relationship between crop yield and the reflectance values in 2011



Şekil 7. 2012 yılı tarla verimi ve yansımaya değerleri arasındaki istatistiksel ilişki
Figure 7. Statistical relationship between crop yield and the reflectance values in 2012



Şekil 8. 2013 yılı tarla verim verileri ve yansım değerleri arasındaki istatistiksel ilişki
Figure 8. Statistical relationship between crop yield and the reflectance values in 2013



Şekil 9. 2014 yılı tarla verim verileri ve yansım değerleri arasındaki istatistiksel ilişki
Figure 9. Statistical relationship between crop yield and the reflectance values in 2014

SONUÇ

Görünür bölge mavi, yeşil ve kırmızı bantların uydu görüntülerinde sınıflandırma ile ürün deseni ve rekoltesinin belirlenmesinde önemli bir fonksiyonunun olmadığı, fakat yakın kızılötesi bandın önemli olduğu bilinmektedir. Ancak, bitki örtüsünün ve rekoltesinin belirlenebilmesi için band kompoziti 3 bant kullanılarak (RGB) yapılmakta ve bu işlem günümüze kadar yakın kızıl ötesi ile birlikte diğer bantlar kullanılarak yapılmaktadır. Bu çalışmada sadece pamuk ürünü rekoltesi ile YKÖ ve KK bant yansım değerleri arasında ilişkiler incelenmiş ve araştırma sonuçları, kırmızı

kenar bandın pamuk ürün verimi ile doğrusal ve önemli bir istatistiki ilişkiye sahip olduğunu göstermiştir. Ulusal düzeyde önemli tarım ürünlerimizden birisi olan pamuk ürün rekoltesinin belirlenmesinde YKÖ (NIR) yanında KK (RE) enerjisi içeren bantların kullanılması durumunda, rekolte tahmin doğruluğunu yükselteceği anlaşılmıştır.

Ayrıca Kırmızı-Kenar bandın sadece pamuk bitkisinde değil, diğer tarımsal ürünlerin verimleri ile ilgili önemli bilgiler verebileceğine rekolte çalışmalarına katkı sağlayabileceği tahmin edilmektedir.

KAYNAKLAR

Bobée, C., C. Ottlé, F. Maignan, N. de Noblet-Ducoudré, P. Maugis, A.-M. Lézine and M. Ndiaye. 2012. Analysis of vegetation seasonality in Sahelian environments using MODIS LAI, in association with land cover and rainfall. *Journal of Arid Environments*, 84: 38–50.

Bulcock, H.H. and G.P.W. Jewitt. 2010. Spatial mapping of leaf area index using hyperspectral remote sensing for hydrological applications with a particular focus on canopy interception. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14: 383–392.

- Conrad, C., R. Colditz, S. Dech, D. Klein and P. Vlek. 2011. Temporal segmentation of MODIS time series for improving crop classification in Central Asian irrigation systems. *International Journal of Remote Sensing*, 32: 8763–8778.
- Conrad, C., S. Fritsch, J. Zeidler, G. Rucker and S. Dech. 2010. Per-field irrigated crop classification in arid central Asia using spot and aster. *Remote Sensing*, 2:1035–1056.
- Daughtry, C. S. T., C. L. Walthall, M. S. Kim, E. Brown de Colstoun and J. E. McMurtrey. 2000. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 74(2): 229–239.
- De Wit, A.J.W., and J. Clevers. 2004. Efficiency and accuracy of per-field classification for operational crop mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 25: 4091–4112.
- Esch, T., A. Metz, M. Marconcini and M. Keil. 2014. Combined use of multi-seasonal high and medium resolution satellite imagery for parcel-related mapping of cropland and grassland. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 28: 230–237.
- Fang, H., S. Liang and G. Hoogenboom. 2011. Integration of MODIS LAI and vegetation index products with the CSM-CERES-Maize model for corn yield estimation. *International Journal of Remote Sensing*, 32: 1039–1065.
- Förster, S., K. Kaden, M. Foerster and S. Itzerott. 2012. Crop type mapping using spectral-temporal profiles and phenological information. *Computers and Electronics in Agriculture*, 89: 30–40.
- Gitelson, A. A., Y. J. Kaufman, R. Stark, and D. C. Rundquist. 2002. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 80: 76–87.
- Guindin-Garcia, N., A.A. Gitelson, T.J. Arkebauer, J. Shanahan and A. Weiss. 2012. An evaluation of MODIS 8- and 16-day composite products for monitoring maize green leaf area index. *Agricultural and Forest Meteorology*, 161: 15–25.
- Gumma, M.K., A. Nelson, P.S. Thenkabail and A.N. Singh. 2011. Mapping rice areas of South Asia using MODIS multitemporal data. *Journal Applied Remote Sensing*, 5: 95–113.
- Herrmann, I., A. Karnieli, D. J. Bonfil, Y. Cohen and V. Alchanatis. 2010. SWIR-based spectral indices for assessing nitrogen content in potato fields. *International Journal of Remote Sensing*, 31: 5127–5143.
- Herrmann, I., A. Pimstein, A. Karnieli, Y. Cohen, V. Alchanatis and D.J. Bonfil. 2011. LAI assessment of wheat and potato crops by VEN μ S and Sentinel-2 bands. *Remote Sensing of Environment* 115: 2141–2151.
- Kanke, Y., W. Raun, J. Solie, M. Stone and R. Taylor. 2012. Red edge as a potential index for detecting differences in plant nitrogen status in winter wheat. *Journal of Plant Nutrition* 35: 1526–1541.
- Kross, A. H. McNairn, D. Lapen, M. Sunohara and C. Champagne. 2015. Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34: 235–248.
- Li, F., Y. Miao, G. Feng, F. Yuan, S. Yue, X. Gao, Y. Liu, B. Liu, S. L. Ustin and X. Chen. 2014. Improving estimation of summer maize nitrogen status with red edge-based spectral vegetation indices. *Field Crops Research*, 157: 111–123.
- Meer, F. V. D., and S. M. de Jong. 2006. Imaging spectrometry for agriculture applications. In: *Imaging Spectrometry: Basic Principals and Prospective Application*, eds. J. G. P. W. Clevers, and R. Jongschaap, pp. 157–197. Dordrecht, the Netherlands: Springer.
- Mitchell, J.J.; N.F. Glenn, T.T. Sankey, D.R. Derryberry and M.J. Germino. 2012. Remote sensing of sagebrush canopy nitrogen. *Remote Sens. Environ.*, 124: 217–223.
- Murthy, C.S., P.V. Raju and K.V.S.Badrinath. 2003. Classification of wheat crop with multi-temporal images: performance of maximum likelihood and artificial neural networks. *International Journal of Remote Sensing*, 24: 4871–4890.
- Peng, Y. and A. A. Gitelson. 2011. Application of chlorophyll-related vegetation indices for remote estimation of maize productivity. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(9): 1267–1276.
- Peng, Y., A. A. Gitelson, G. Keydan, D. C. Rundquist and W. Moses. 2011. Remote estimation of gross primary production in maize and support for a new paradigm based on total crop chlorophyll content. *Remote Sensing of Environment*, 115: 978–989.
- Schuster, C., M. Förster and B. Kleinschmit. 2012. Testing the red edge channel for improving land-use classifications based on high-resolution multi-spectral satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 33: 5583–5599.
- Viña, A., A.A. Gitelson, A. L. Nguy-Robertson and Y. Peng. 2011. Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. *Remote Sensing of Environment*, 115: 3468–3478.
- Zheng, B., S. W. Myint, P. S. Thenkabail and R. M. Aggarwal. 2015. A support vector machine to identify irrigated crop types using time-series Landsat NDVI data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34: 103–112.