Yoğun tarımsal üretim yapılan alanlarda arazi örtüsü değişiminin yüksek çözünürlükteki uydu görüntüleri yardımıyla izlenmesi

L. GENÇ[1], H.TURHAN[2], Y.B.BOSTANCI[1], S. SARIİBRAHİMOĞLU[3]
1- Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve SulamaBölümü
2- Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü
3- Kaanlar Tarım İşletmesi Çanakkale.

Özet

Bu çalışma bitkilerin arazide bulunduğu tarihlerde izlenmesi ve gerektiği hallerde bitkiye müdahale edebilme olanağını araştırmaya yönelik sürdürülen çalışmanın birinci aşamasını oluşturmaktadır. Mart 17 2006, Haziran 24 2006, Temmuz 16 2006 ve Ağustos 28 2006 tarihlerinde IKONOS uydu görüntüleri kullanılarak hesaplanan Normalize Edilmiş Vejetasyon Farklılık İndeks (NDVI) değerleri tesadüfi yöntemle indeks görüntülerden elde edilmiştir. Her bitki deseni için 50 noktasal verinin ortalaması alınarak hesaplanmış ve bu değerler uydu görüntülerinin alındığı tarihlerde küresel konumlama sistemi yardımıyla arazi şartlarında toplam 200 noktada doğrulanmıştır.

Çeltik ekili alanlar Mart 17 2006 tarihinde çıplak toprak özelliğinde olduğundan NDVI değeri sıfıra yakın (0.04), Haziran 24 te 0.47, Temmuz 16 da ise en yüksek değer olan 0.62 ye ulaşmıştır. Ağustos 28 de NDVI değeri tekrar düşüşe geçerek 0.51'e gerilemiştir. Ayçiçeği ekili alanlar Mart 17 tarihinde çıplak arazi olduğundan NDVI değeri 0.036 iken bu değer Haziran 24 te en yüksek değeri olan 0.63 e yükselmiştir. Temmuz 16 tarihinde 0.54 e ve Ağustos 28 tarihinde ise 0.14 e gerilemiştir. Bu tarihten 8 gün sonra hasat gerçekleşmiştir. Mera alanları ilkbaharda olan 0.150 NDVI değeri haziran ve temmuz ayları için 0.016 ve Ağustos dönemi için 0.018 olarak hesaplanmıştır. Buğday ekili alanlar Mart 17 tarihinde 0.29 olurken Haziran 20 de yapılan hasattan 4 gün sonra NDVI değeri 0.1 e hasattan 25 gün sonra (Temmuz 16) 0.07 ye ve hasattan 69 gün sonra (Ağustos 28) bu değer 0.016 ya düşmüştür.

Bu çalışma yardımıyla yoğun sulu tarım yapılan kumkale ovasında çeltik ayçiçeği, mera ve buğday anızının alansal ve fizyolojik özelliklerinin izlenmesine olanak verdiği ve hasat zamanının belirlenmesi, hasat sonrası ikinci ürün için arazi hazırlanma zamanının belirlenmesi, alanda hayvan otlatma programı hazırlanması, bitki besin maddelerinin eksikliklerinin takibi gibi kararların alınmasında kolaylıklar sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: *Tarımsal üretim, IKONOS, NDVI, Yetiştirme Dönemi, CBS*

Abstract

This study was the first step of an ongoing project about screening crops during their growth period in the field and to decide application possibilities when needed. NDVI values were calculated from randomised index images obtained from IKINOS satellite (March 17 2006, June 24 2006, July 16 2006 and August 28 2006). For each crop pattern, it was calculated by taking average of 50 values and these values were confirmed at total 200 points in the field condition using by global geographical system when the date the images were obtained.

Since soil surface of rice fields at March 17 2006 has not been covered yet, NDVI value was found to be near to zero (0.04), 0.47 on June 24 and 0.62 on July 16. In August 28, the value again tended to decline and dropped to 0.51. In sunflower, the plants have not been emerged in March 17, NDVI value was 0.036 whereas it reached to highest value (0.63) on June 28. On July 16 and August 28, it decreased to 0.54 and 0.14, respectively. In meadows, NDVI value in spring season was calculated 0.150, which declined to 0.016 on June and July and 0.018 on August. In wheat planted areas, it was 0.29 on March 17 while it was found to be 0.1 four days later from harvest done on June 20. This dropped to 0.07 25 days (July 16) after harvest whereas it more dropped (0.016) 69 days after harvest (August 28).

This study provides monitoring geographical and physiological characteristics in rice, sunflower, meadow and wheat straw grown in Kumkale plate in where takes place an extensive irrigated cultivation. Therefore this assists to take some decisions such as determination of harvesting time and seedbed preparation time for second crop, grazing management and monitoring plant nutrient deficiencies.

Key Words: *Agricultural production, IKONOS, NDVI, Growing period, CBS*

Giriş

Uzaktan algılama bilimi büyüme mevsimi boyunca bitkilerin gelişiminin izlenmesi ve arazideki yönetimin belirlenmesinde önemli yenilikler sağlamaktadır (Moran vd., 1997). Yoğun tarım yapılan alanlarda bitkisel yapıdaki değişimlerin oluşmasına neden olan etmenlerin belirlenmesinde uygulanan geleneksel yöntemlerin zaman ve ekonomik açıdan yeterli olmadığı bilinmektedir. Uzaktan algılama teknikleri yardımıyla bitki yetişme peryodunda meydana gelen biokimyasal olayların sonucu fiziksel değişimlerin spectral yansıma teknikleriyle belirlenmesi mümkündür (Hatfield ve Pinter, 1993). Klorofil elektromagnetik spektrumun görünebilir bölgesinde kolayca tespit edilebilmesi ve bitki besleme ortamında bulunan azot (N) oranıyla doğru orantılı olarak artmaktadır (Blackmer vd, 1994). Genel olarak uzaktan algılama çalışmaları bitkilere ait özelliklerin belirlenmesi, rekolte tahmini, yaprak alan parametreleri bitki stress faktörlerinin belirlenmesi, bitki sağlığının izlenmesi ve bitki yetişme döneminde gerekli kararların alınmasına yardımcı oluğu araştırıcılar tarafından teorik ve uygulamalı olarak belirlenmiştir (Tucker vd., 1980 ;Jackson ve Pinter, 1986; Wiegand, vd, 1990; Qi vd., 2000; Elwadie vd 2005, Castro-Esau vd, 2006).

Bitki özelliklerinin belirlenmesi ve izlenmesi konusunda pek çok basit eşitliklerden yararlanılmıştır. Bunlardan en önemlileri ve yaygın olarak kullanılanı Normalize Edilmiş Vejetasyon Farklılık İndeksi, (NDVI) Rouse vd. (1973) tarafından elektromagnetikspektrumun görünür bölgesinden kırmızı (K) ve kızıl ötesi (KÖ) bölgesini kullanarak oluşturdukları basit eşitlikle ortaya konmuştur (Formül 1).

NDVI= (KÖ-K)/ (KÖ+K) (1)

NDVI : *kullanılanı Normalize Edilmiş Vejetasyon Farklılık İndeksi*
K : *elektromagnetikspektrumun görünür bölgesinden kırmızı kısım*
KÖ : *kızıl ötesi bölge*

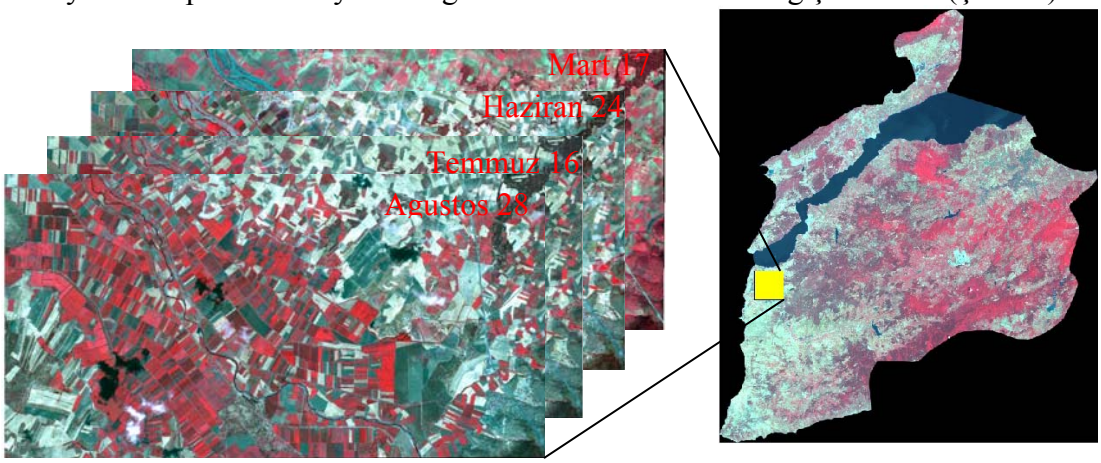
NDVI değerleri -1 ile 1 arasında bir değer alır ve 0.5-0.6 arası değer doğal şartlarda sağlıklı bitki ve klorifil içerdiğini gösterir.

Bu çalışmanın amacı Çanakale İli merkez ilçe ve Ezine ilçesi sınırlarında yer alan Kumkale ovasının güney doğusunda yoğun olarak yetiştirilen çeltik, ayçiçeği, buğday (hasat sonrası) kültür bitkileri ve mera alanlarında bitki gelişimine uygun peryotta bitki örtüsünün NDVI indeks değeri yardımıyla izlenmesidir. Ayrıca tarımsal uygulamaların tespiti ve üretimle ilgilenen kurum kuruluşların yetiştirdikleri ürünler hakkında yetiştirme peryodu boyunca bilgi sahibi olma ve hayvansal üretim için önemli bir yeri olan mera ve hasat sonrası alanlarda otlatma programlarının belirlenmesine yardımcı olma olanakları da araştırılmıştır.

Materyal ve Method

Çalışma Alanı

Çalışma, Çanakkale İli batısında şehir merkezine 20 km uzaklıkta Kumkale ovası güneydoğusunda yer alan Troia milli parkının bir kısmını da içine alan toplam 4800 ha lık sulu tarımın yoğun yapıldığı bir alandır. Çalışma alanının doğusunda İzmir Çanakkale kara yolu, kuzeyinde Çanakkale Boğazı, Batısında Ege Denizi ve Güneyinde Ezine ilçe sınırları yeralmaktadır. Örneklerin toplandığı arazi alanı düz ve düze yakın olup denizden yüksekliği 8 m ve 29 m arasında değişmektedir (Şekil 1).



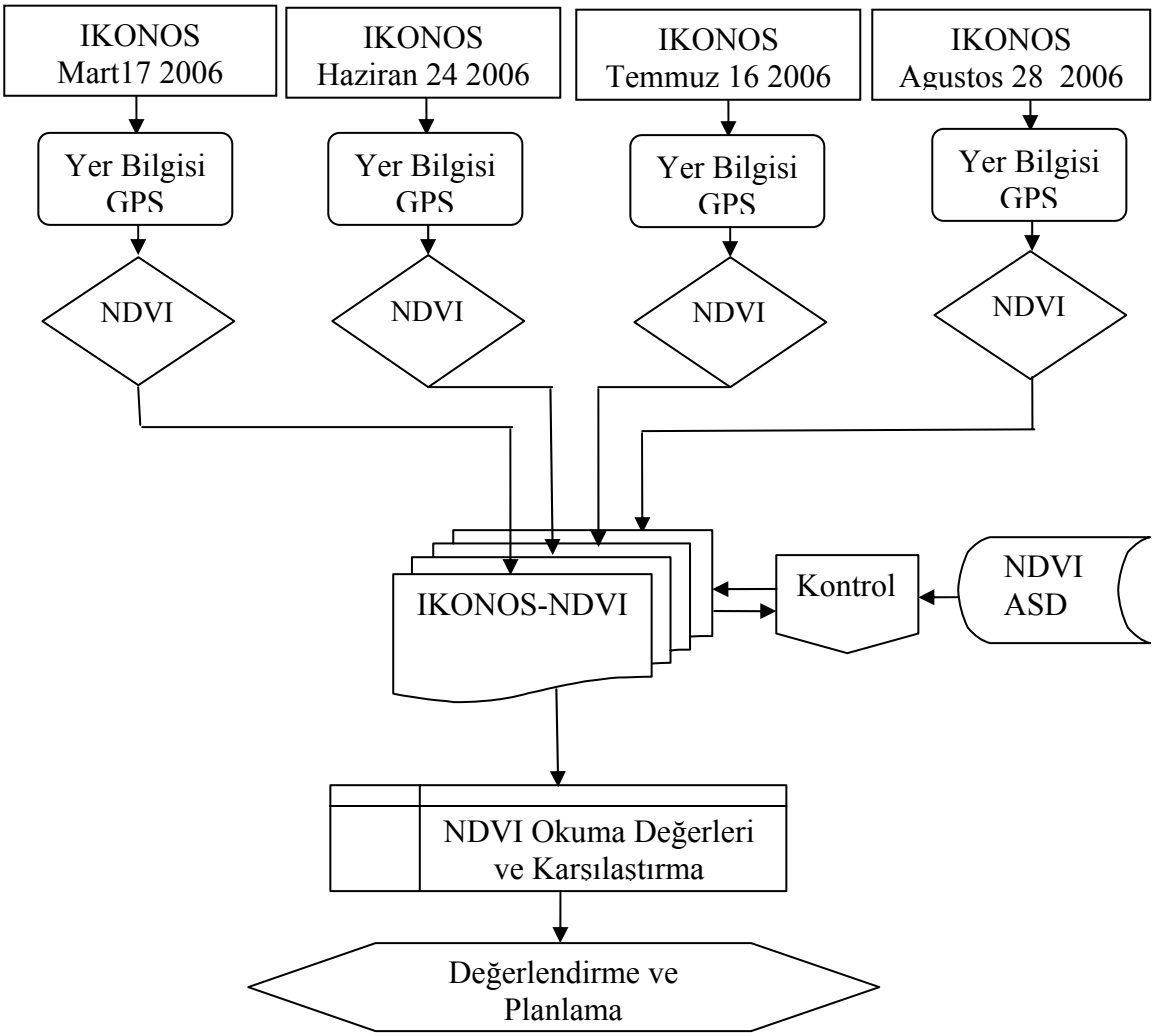
Şekil 1. *Çalışma alanı: Kumkale ovası*

Görüntü İşleme ve NDVI değerlerinin Oluşturlması

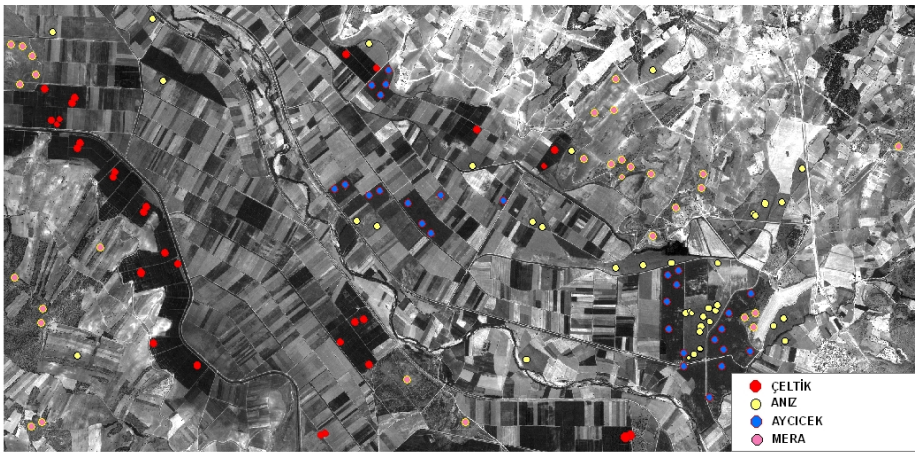
Çalışma alanına ait uygdu görüntüleri 2006 yılı bitki yetiştirme periyodu içinde yer alan Mart ve Ağustos ayları arasında elde edilmiştir. Görüntüler görünebilir ve kızıl ötesi dalgaboylarında yansıma değerlerini kaydedebilme yeteneğinde sahip 4 adet IKONOS uydu görüntüsü kullanılmıştır. Çalışma alanında yapılan ve halen devam eden başka çalışmalar için toplanan yer bilgilerinin yanısıra bu çalışma için özel olarak toplanan bilgiler beraber değerlendirilmiştir.

Çalışma alanında 2006 yılları yaz sezonu için Mart 16, 17 ve 28 için yapılan arazi çalışmalarında çeltik bitkisi ekimi yapılacak alanlar, mera alanları ve buğday ekili parsellerde Küresel Konumlama Sistemi (GPS) GeoExplorer XT 1 m altı konumsal çözünürlüklü sistem kullanılarak noktasal örnekler şeklinde araziden alınmış bu elde edilen verilerin koordinatları daha sonraki çalışmalarda kullanılmak üzere arşivlenmiştir. Bu aşama ayçiçeği ekim peryodundan hemen sonra tekrarlanmıştır. Arazi çalışmalarına uygun dizüstü bilgisayar yardımıyla konumları bellirlenen noktalar arazi şartlarında sayısal görüntü üzerine her sınıf için 50 nokta olmak üzere toplam 200 nokta yüksek çözünürlükte IKONOS pankromatik görüntüsü üzerine işlendi (Şekil 2 ve Şekil 3). Çalışma kapsamında Mart 17 2006 tarihli görüntü referans alınarak Haziran 25, Temmuz 16 ve Ağustos 28 2006 tarihli görüntüler yeniden koordinat kaydı 2 dereceden polynomial transformasyon tekniğinden yararlanılarak yapılmıştır. (ERDAS, 2006). Çalışmada harita oluşturma ve analiz yapma işlemleri için ERDAS 9.0 ve ERSİR ArcGIS 9.1 yazılımı kullanılmıştır.

Çalışma alanında toplam 7 aylık süre içinde ekili olan çeltik, buğday, ayçiçek bitkilerinin yanısıra mera alanları olmak üzere toplam dört sınıfın NDVI değerleri arazi çalışmaları sonucu uydu görüntüleri yardımıyla noktasal olarak belirlendi. Her sınıf için araziye uydu görüntülerinin alındığı hafta içinde gidilerek el spektro-radiometresi yardımıyla yansıma değerleri alındı. Bu değerler çalışmanın ilerleyen aşamalarında değerlendirilecektir.

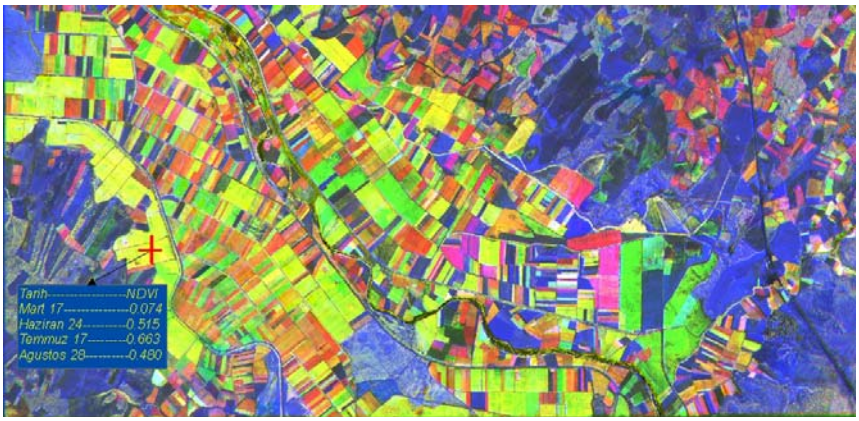


Şekil 2. *İşlem aşamaları ve görüntü işleme akış diyagramı*



Şekil 3. *Örnekleme alınan noktaların konumu. Kırmızı: Çeltik, Sarı: Anız, Mavi: Ayçiçek, Pembe: Mera*

Farklı tarihlerdeki IKONOS uydu görüntülerinden ERDAS imagine yazılım programı yardımıyla NDVI görüntüleri elde edildi. Elde edilen NDVI değerleriden yeni IKONOS-NDVI görüntüsü katman birleştirme tekniği yardımıyla oluşturuldu (Şekil 4). Geometrik olarak üst üste oturtulan NDVI değerleri her sınıf için pankromatik görüntü üstünde belirlenen noktarın ERDAS yazılım programı coğrafik link modülü kullanılarak Pankromatik ve IKONOS-NDVI görüntüsünden nokta okumaları yapılarak not edildi. (Şekil 3). Elde edilen değerlerin anlamlı olup olmadıkları 235 nm ve 1075 nm alanda ölçüm yapabilen ASD el spektroradiometresi kullanılarak elde edilen verilerden hesaplanan NDVI değerleri ile IKONOS-NDVI sonuçların kullanılabilirliği bellirli nokalarda test edildi. Toplam 200 noktada yapılan hesaplama daha sonra bu değerlerin ortalaması alınarak ortalama NDVI değeri her sınıf için dört ayrı tarih için bellirlendi.



Şekil 4. *Farklı tarihlerde elde edilen NDVI görüntülerinden oluşturulan IKONOS-NDVI görüntüsü*

Elde edilen sonuçların zamansal değişimi ve sınıfsal farklılıkları bellirlenerek çalışma kapsamında arazi yönetimi hakkında senaryolar üretildi.

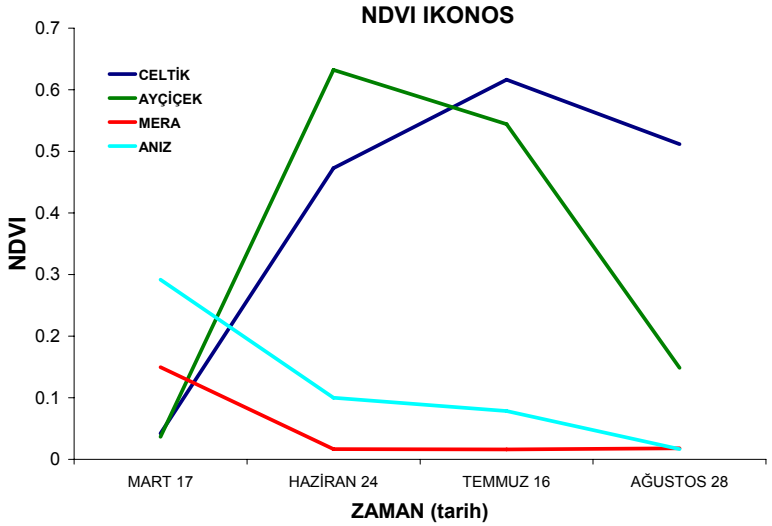
Bulgular ve Tartışma

Devam eden bir çalışma olması nedeniyle bu çalışma kapsamında belirli sonuçlar dikkate alınarak sunulmuştur. IKONOS-NDVI görüntüsü kullanılarak elde edilen görüntüden oluşturulan noktasal NDVI değerleri ve zamansal değişimleri Şekil 5'te sunulmuştur. Çalışma alanında çeltik ekimi takriben Nisan ortası ve Mayıs başı gibi yapılmaktadır. Ölçüm alınan alanlarda çeltik bitkisinin ne zaman ekildiği kesin tarih olarak bilinmemektedir. Bu nedenle Mart 17 2006 tarihinde arazide yapılan gözlemlerde çeltik bitkisinin ekilmediği arazi hazırlama çalışmalarının yapıldığı yönündedir (Şekil 5). Bu nedenle NDVI değeri 0 a yakın olarak hesaplanmıştır. Aynı tarihte arazide ekili olarak bulunan buğday (daha sonra anız sınıfı diye anılacaktır) yeni çimlenmekte ve NDVI değeri 50 noktanın ortalaması olarak 0.3 civarındadır. Çalışma alanında Mera sınıfı diye tanımlanan ve yörede hayvan otlatma ve çalı formundaki arazilerden oluşan alanlardan alınan yer bilgileri toplandıktan sonra elde edilen IKONOS uydu görüntüsü kaynaklı NDVI değerleri hesaplanmıştır. Mart 17 tarhinde en yüksek değere ulaştığı saptanmıştır. Bunun çeşitli nedenleri olabileceği gibi ana nedenleri otlatma ve hava şartlarından kaynaklandığı tespit tahmin edilmiştir. Daha sonraki aşamada hava şartlarına bağlı NDVI değerlerinin oluşumu incelenecektir. Sulu tarım yapılan alanlara şıkışmış meralarda otlatma olmaması

bu teoriyi güçlendirmektedir. Ayçiçek bitkisi Mayıs 10 da ekimine başlanmış ve 23 ünde son bulmuştur. Bu süre içinde yapılan arazi çalışmalarıyla belirlenen noktalardan alınan ilk sonuçlar Haziran 24 görüntüsünde değerlendirlmiştir bu tarihte ayçiçeği NDVI değeri yetiştirme peryodu içindeki en yüksek değere ulaşmıştır (0.63). Mart 17 de çalışma alanı tamamen işlenmiş tarım arazisi veya ekime hazırlanma aşamasındadır. Bu nedenle NDVI değerleri Mart 17 tarihinde 0 a yakın değerdedir. Çeltik bitkisinin uydu görüntüleri tarafından parsellerde görüldüğü ilk tarih Haziran 24 2006'dır (Şekil 5). Bu tarihte NDVI değeri 0.45 civarında olup bitkilerin su ile temasının devam ettiği bir zamn dilimidir. Bitki arka yüzeyi ıslak toprak ya da tamamen su ile kaplıdır. Haziran 24 görüntüsünde mera ve anız sınıfına ait NDVI değerleri düşüş göstermektedir. NDVI değerinin anız için düşük olması buğday bitkisinin ortalama 10 Haziran ve 30 Haziran arası dönemlerde hasat edildiği, örnek alınan alanların büyük çoğunluğunda buğday hasatının bittiği gözlenmiştir. Bu nedenle NDVI değeri 0.1, meralardaki otlatma ve yağış eksikliği nedeniyle 0.02 değerine düşmüştür.

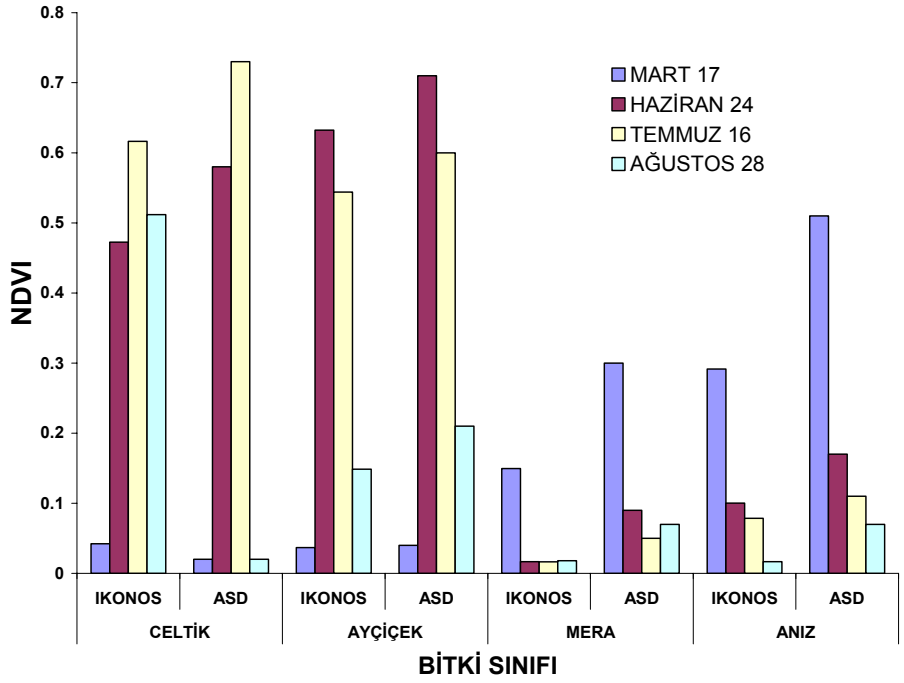
Temmuz 16 2006 tarihinde NDVI değeri çeltikte en yüksek (0.61) ve mera alanlarında en düşük (0.02) olarak gözlenmiştir. Bu tarihte ayçiçek 0.53 değeriyle hasat öncesi bitkinin sararma eğilimninde olduğu saptanmıştır. Ayrıca anızdaki NDVI düşüşü de sürmektedir. Ağustos 28 tarihinde çeltik hasattan ortalama 20 gün önce elde edilen NDVI değerine göre halen yeşil aksanın varlığını sürdürdüğü ve yavaş yavaş vejatatif aksanda sararmalar meydana geldiği gözlenmiştir. NDVI değeri 0.51 olarak ortalamaya yansımıştır. Ayçiceği bitkisinin örneklerinin alındığı alanlardan 3 ünde hasatın tahmin edilenden erken yapılması nedeniyle bu üç veri Ağustos 28, 2006 tarihi için başka bir parselden alınmış ve ortalama hesaplamalarında kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar NDVI değerinin 0.17 değerine düştüğü ve takip eden 3-10 gün içinde ayçiçek ekili parsellerin yarısına yakın alanların hasat edildiği arazi çalışmalarıyla tesbit edilmiştir (Şekil 5).

Anız sınıfına ait NDVI değerleri 0.02 değerine ulaşmıştır. Arazide yapılan incelemede anız sınıfına giren alanların büyük bir bölümünde ikinci ürün slajlık mısırın ekili olduğu ve toplam 9 noktanın anız özelliğini koruyan alanlardan alınarak ortalama NDVI değerinin hesaplanması yapılmıştır. Mera alanlarındaki kuruluk devam etmektedir anız ile mera arasındaki farkın IKONOS uydu görüntüsü tarafından ve NDVI değeri anızla aynı değere ulaşmıştır.



Şekil 5. IKONOS –NDVI zamansal değişimi

ASD el spektrometresi yardımıyla uydu görüntü alındığı tarihlerin en fazla 7 günlük farklıkla araziden alınan ölçümlerden NDVI değerleri hesaplandı. Elde edilen sonuçlar IKONS-NDVI değerleri ile karşılaştırıldı (Şekil 6). IKONOS uydu görüntülerinin kırmızı ve kızılötesi bandları kullanarak elde edilen NDVI değerleri el spektroradyometresi yardımıyla elde edilen ölçümlerden hesaplanan değerlerden her sınıf için daha düşük çıkmıştır. Bu durum atmosferik şartlardan ve uydu çekim açısından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 6. *Karşılaştırmalı NDVI değerleri IKONOS uydu görüntüleri ve ASD spektroradiometre*

Elde edilen sonuçlar, Hatfield ve Pinter (1993) de belirttikleri üzere uzaktan algılama teknikleri yardımıyla bitki yetişme peryodunda meydana gelen biokimyasal olayların sonucu meydana gelen fiziksel değişimlerin spektral yansıma teknikleriyle belirlenmesini mümkün kılmıştır. Elde edilen sonuçların klorofil miktarındaki farklılıkların bitki fiziksel özelliklerinin elektromagnetik spektrumun görünebilir bölgesinde kolayca tespit edilebilmesi (Blackmer vd, 1994) ve kızıl ötesi ışınların klorofil içeriği yüksek olan bitkilerdeki yansıma değerlerinin arasındaki ilişki nedeniyle bitki sağlıklılık durumu başka indeksler kullanılmasının yanında iyi NDVI değeri ile belirlenebilmiştir. Jensen, (2000) de detaylı olarak sunduğu bir çalışmasında bunu desteklenmiştir. Bu çalışma yardımıyla bitki örtüsünün arazide izlenmesi ve bitki hakkında sağlıklı olup olmaması, rekolte tahmininin yapılması, bitki stres faktörlerinin belirlenmesi, bitki sağlığının izlenmesi ve bitki yetişme döneminde gerekli kararların alınmasına yardımcı olacağı bilgilerin edinildiği gözlenmiştir. Bu veriler değişik bilim adamlarınca daha önce gerek teorik gerek uygulamalı olarak tesbit edilmiştir (Tucker vd., 1980; Jackson ve Pinter, 1986; Qi vd., 2000; Elwadie vd 2005, Castro-Esau vd, 2006). Bununla birlikte yetiştirme dönemindeki bitki örtüsü değişimleri arazide kolay ve ekonomik bir şekilde yapmak mümkün olmalı ve yetiştirme dönemi içinde bitkilerin durumlarının izlenmesi ve arazi yönetimi hakkında verilecek kararlara yardımcı olacak sayısal ve grafiksel verilerin oluşturulması

gerekmektedir. Çünkü bitkilerin özelikle sulama ve gübrelemeye dayalı problemlerinin NDVI değerleri ile yer bilgilerinin desteği ile belirlenmesi güç olmayacaktır. Ayrıca bu değişim sezonluk olması nedeniyle bitkilerin hakkında azot ve su kontrollü olarak yapılacak deneme ile kesin değerleri tesbit edilmelidir. Mevcut durum tesbiti yapmak üzere yapılan bu çalışma otlatma programı yapmak durumunda olan çiftciler için sağlıklı veriler oluşturduğu gerçektir. Ayrıca bu veriler bitki yaprak alan indeksleri ve ekili alan değerleri göz önünde bulundurularak yöreye ait ekonomik tahminler yapılmasına yardımcı olabilir. Bu yaklaşım her çalışma alanı için yapılacak bölgesel ve hatta işletme düzeyindeki çalışmalar yapılmasıyla başarı ölçüsünün artması beklenebilir.

Teşekkür
Bu çalışma TUBİTAK tarafından desteklenen 104O255 nolu proje desteği ile yapılmıştır. Ayrıca Inta spaceturk Mart 17 2006 tarihli uydu görüntüsünü proje kullanımına sunmuştur.

Kaynaklar

Blackmer, A.M., J.S. Schepers, and G.E. Varvel. 1994. Light reflectance compared to other nitrogen stress measurements in corn leaves. Agron. J. **86**: 934-938.

Castro-Esau, K L., G. A. Sanchez-Azofeifa, B. Rivard, S. J. Wright and M., Quesada. 2006. Variability in leaf optical properties of Mesoamerican trees and the potential for species classification. *American Journal of Botany***.** 2006;**93**: 517-530

Elwadie, M., F.J. Pierce, and C. Qi. 2005. Remote sensing of corn canopy dynamics and biophysical variables estimation. *Agronomy Journal* **97**: 99-105

ERDAS 2006. ERDAS Field Guide (CD) Atlanta USA

Hardwik and N. R. Baker. 1973 In VİVO measurement of Chlorophyll Content of Leaves. *New Phytol* (1973) **72**: 51-54.

Hatfield, J.L., and P.J. Pinter, Jr. 1993. Remote sensing for crop production. Crop Prot. **12**:403-411.

JACKSON, R.D., PINTER, P.J., REGINATO, R.J. and IDSO, S.B., 1986, Detection and evaluation of plant stresses for crop management decisions. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, **24**, pp. 99–106.

Jensen, J. R. (2000). Remote sensing of the environment: An earth resource perspective. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall Inc.

Moran, M.S., Y. Inoue, and E.M. Barnes. 1997. Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management. Remote Sens. Environ. **61**: 319-346.

Rouse, J.W., Jr., R.H. Haas, J.A. Schell, and D.W. Deering. 1973. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Prog. Rep. RSC 1978-1. Remote. Sensing Cent., Texas A&M Univ., College Station.

Tucker, C.J.T., B.N. Holben, J.H. Elgin, Jr., and J.E. McMu1r1tr1e.y 1980. Relation of spectral data to grain yield variation. Photogramm. Eng. Remote Sens. **46**: 657-666.

Qi, J., Y.H. Kerr, M.S. Moran, M. Weltz, A.R. Huete, S. Sorooshian, and R. Bryant. 2000. Leaf area index estimates using remotely sensed data and BRDF model in semiarid region. Remote Sens. Environ. **73**: 18-30.

Wiegand, C.L., and A.J. Richardson. 1990. Use of spectral vegetation indices to infer leaf area, evapotranspiration, and yield: Rationale. Agron. J. **82**: 623-629.