

Omasa, Kenji, Kazuo Oki, and Tomoyuki Suhama. 2006. Section 5.2 Remote Sensing from Satellites and Aircraft, pp. 231-244 of Chapter 5 Precision Agriculture, in CIGR Handbook of Agricultural Engineering Volume VI Information Technology. Edited by CIGR-The International Commission of Agricultural Engineering; Volume Editor, Axel Munack. St. Joseph, Michigan, USA: ASABE. Copyright American Society of Agricultural Engineers.

Çevirmenler: Pınar DEMİRCİOĞLU ve İsmail BÖĞREKÇİ

Çeviri Editörleri: Sefa TARHAN ve Mehmet Metin ÖZGÜVEN

5.2 Uydu ve Hava Araçları ile Uzaktan Algılama

Yazarlar: K. Omasa, K. Oki ve T. Suhama

Çevirmenler: Pınar DEMİRCİOĞLU ve İsmail BÖĞREKÇİ

Özet: *Bu bölüm uzaktan algılama için hiperspektral, hipermekansal, aktif ve üç boyutlu gözlemler yapan uydu ve hava araçlarında kullanılan yararlı sensörleri tanıtır. Ayrıca hassas tarım, tarımsal ormancılık ve toprak koruma gibi sürdürülebilir tarım konularında tarımsal uzaktan algılama uygulamalarındaki son gelişmeleri tanıtır.*

Anahtar Kelimeler: *Hiperspektral sensör, Toprak koruma, Arazi kullanımı, Lidar, Hassas tarım, Uzaktan algılama.*

5.2.1. Giriş

Uydu ve hava araçları ile uzaktan algılama tarımsal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [1-3]. Özellikle hava araçları, Landsat ve SPOT (Fransız Systeme Probatoire d'Observation de la Terra) gibi platformlara yerleştirilen pasif optik sensörler bitkisel üretim tahmini ve arazi kullanımı değişikliği gibi uygulamalara fırsat vermiştir. Tarımsal uzaktan algılama konusundaki son gelişmeler hassas tarım, tarımsal ormancılık ve toprak koruma gibi sürdürülebilir tarım uygulamalarıdır. Bunlar orman, ekosistem, hidroloji ve çevre yönetimi uygulamaları ile çok yakından ilgilidir [3-5]. Bu arada, uydu ve hava araçları ile uzaktan algılamadaki teknik eğilimler, hiperspektral, hipermekansal, aktif ve 3D gözlemlerdir [5-11]. Her ne kadar Landsat Tematik Haritalayıcı (TM, Thematic Mapper) ve SPOT Yüksek Çözünürlüklü Görünür (HRV, High Resolution Visible) gibi sıradan uyduların optik sensörleri, on spektral kanaldan az olarak sınırlı iseler de, NASA tarafından Kasım 2000'de başlatılan Hyperion isimli Yerküre Gözlem 1 (EO 1), 30 m mekansal çözünürlükte 220 spektral bantda çözme yeteneğine sahip, (0,4 ile 2,5 µm) yüksek çözünürlüklü hiperspektral bir görüntüleyici sağlamaktadır. 2001 yılının Ekim ayında yörüngeye yerleştirilen hipermekansal QuickBird uydusu yaklaşık 0,6 m mekansal çözünürlükte olan pankromatik (PAN, Panchromatic) görüntüler sağlar. Lidar ve SAR gibi aktif uzaktan algılama sensörlerinin kullanımı, pasif sensörlerden daha yararlı bilgiler sağlar. Örneğin, yakın gelecekte yörüngeye yerleştirilecek olan (NdYAG diyotlu 25 m ayak izi palslı lazerler) Bitki Kanopu Lidarı (VCL, Vegetation

Canopy Lidar) ile 3D yüzey ve bitki örtüsü 1-m yükseklik doğruluğu ile ölçmek mümkün olacaktır [12]. Hava araçları ile uzaktan algılamadaki son gelişmeler uydu ile gerçekleştirilen uzaktan algılamaya benzemektedir. Bölüm 5.1’de tanımlanan görüntü algılama ile uydulardan ve hava araçlarından gelen uzaktan algılamayı birleştirilen hiyerarşik uzaktan algılama sürdürülebilir tarım daha etkin kullanılabilir.

Bu bölümde, uydular ve hava araçlarına yerleştirilmiş kullanışlı uzaktan algılama sensörleri ve tarımdaki uygulamaları açıklanmıştır.

5.2.2. Uzaktan Algılama Sensörleri

Uydu ve hava araçları kullanılarak yapılan uzaktan algılamadan elde edilen bilgilerin genel türleri Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Uzaktan algılamadan elde edilen temel bilgiler

Multi ya da hiperspektral uzaktan algılama (görünür bölgeden yakın kızılötesi bölgeye)
<ul style="list-style-type: none">• Arazi (Tarım arazisi, ormanlar, doğal vejetasyon, vb.): Arazi, arazi örtüsü, arazi kullanımı, bitki örtüsü indeksleri, bitki türleri, fenolojisi, biyokütle, bitki verimi, görünür yaralar, kanopi biyokimyası, toprak tipleri, toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri, gübre uygulaması, su durumu, kar ve buz, su kaynakları• Hidrosfer (atmosfer dâhil değil): Mercan kayalıkları, sığlık arazi, su kirliliği, plankton• Atmosfer: Bulutlar, su buharı, sis, aerosoller, toz, hava kirliliği
Termal uzaktan algılayıcılar
Termal radyasyon, toprak ve su alanının sıcaklığı, buharlaşma (bitkilerin terlemesi dâhil), toprak nem, atmosfer sıcaklığı, okyanus akıntıları, bulutlar
Lidar
Arazi, 3 boyutlu (3D) kanopi yapısı, biyokütle, aerosoller, hava kirlleticileri, Advectif difüzyon
SAR
Arazi, yüzey yapısı, bulutlar, yağmur

Uydu Uzaktan Algılama Sensörleri

MSS, TM ve ETM+ (Landsat, NASA, ABD)

Çok Bandlı Tarayıcı (MSS, Multispectral Scanner System), Landsat 1’den Landsat 5’e kadar tüm uyduların üzerine monte edilmiş optik bir sensördür. 1972 yılında yörüngeye yerleştirilen MSS ile monte edilmiş Landsat 1, uzaydan uzaktan algılamanın etkinliğini doğrulamıştır. Çok Bandlı Tarayıcı MSS görünür bölgeden yakın kızıl ötesi bölgeye kadar dört banddan oluşur: 0,5’den 0,6 μm ’ye (band 4), 0,6’den 0,7 μm ’ye (band 5), 0,7’den 0,8 μm ’ye (band 6), ve 0,8’den 1,1 μm ’ye (band 7). Mekansal çözünürlük yaklaşık 80 m’dir. Ayrıca MSS, 240 m mekansal çözünürlükte Landsat 3 üzerine monte edilmiş bir termal kızılötesi band ile donatılmıştır (10,4 ile 12,5 μm).

Tematik Haritalayıcı (TM, Thematic Mapper) Landsat 4 ve Landsat 5 uyduları üzerine monte edilmiş optik bir sensördür. TM yedi banddan oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla 0,45’den 0,52 μm ’ye (band 1), 0,52’den 0,60 μm ’ye (band 2), 0,63’den 0,69

μm 'ye (band 3), 0,76'den 0,90 μm 'ye (band 4), 1,55'den 1,75 μm 'e (band 5), 0,40'den 12,50 μm 'ye (band 6) ve 2,08'den 2,35 μm 'ye (band 7). Band 6 (120 m) hariç, bu bandların mekansal çözünürlükleri 30 m'dir. MSS ile mukayese edildiğinde, artan sayıda spektral band ve mekansal çözünürlük açısından TM daha gelişmiştir. Bunun sonucunda, arazi kaplama sınıflandırma hassasiyeti gelişmiştir. Bunun yanında, band 3 ve band 4 gibi bu yeni dalga boyu aralıklarını kullanarak, bitki örtüsü koşullarının tahmini için çeşitli bitki indeksleri geliştirilmiştir.

Geliştirilmiş Tematik Harita Çıkarıcı Artı (ETM+, Enhanced Thematic Mapper Plus), 1999 yılında fırlatılan Landsat 7 üzerine monte edilen bir sensördür. Bu, Landsat 4 ve 5 üzerindeki TM sensörünün gelişmiş bir versiyonudur. ETM+'nın avantajı, termal infrared bandın (band 6, 60 m mekansal çözünürlük) mekansal çözünürlüğündeki artıştır ve pankromatik bandın (0,50 ile 0,90 μm , 15 m) ilavesidir. Gelecekte, termal infrared band kullanan uygulamalar tarım alanında popüler hale gelecektir.

Hyperion (EO-1, NASA, ABD)

2000 yılında fırlatılan Earth Observing-1 (EO-1) üzerine monte edilen *Hyperion*; 220 spektral band (0,4 ile 2,5 μm arasında) çözme kabiliyetine sahip ve 30 m mekansal yüksek çözünürlüklü bir hiperspektral görüntüleyicidir. Landsat 7 üzerindeki ETM+ ile koordineli olarak görevli olduğu alandan hiperspektral görüntüler toplamaktadır. Hem Hyperion hem de ETM+ aynı yerel alanı gözlemlemektedir. Hyperion ve ETM+ görüntülerinin detaylı mukayeseleri; tarım, ormancılık, madencilik, jeoloji ve çevre yönetimi gibi gelecekteki uygulamaları genişletecektir.

ASTER (EOS AM-1, NASA, ABD)

Gelişmiş Uzay Tabanlı Termal Emisyon ve Yansıma Radyometresi (ASTER, The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) 1999 yılında fırlatılan EOS AM-1 üzerine monte edilen bir optik sensördür. ASTER, 15 m çözünürlüklü 3 banda sahiptir (0,52 ile 0,86 μm arasında), 30 m çözünürlüklü 6 banda (1,60 ile 2,43 μm arasında) ve 90 m çözünürlüklü 5 banda (8,125 ile 11,65 μm arasında) sahiptir. ASTER; yeraltı kaynaklarının araştırılması, çevresel gözlem ve volkanik aktivitelerin gözlenmesi gibi çeşitli sahalarda kullanışlı olması beklenmektedir.

HRV ve HRVIR (SPOT, CNES, Fransa)

Yüksek Çözünürlüklü Görünür (HRV, High Resolution Visible), SPOT 1, 2 ve 3 üzerine monte edilen optik bir sensördür; *Yüksek Çözünürlük Görünür Kızılötesi (HRVIR, High Resolution Visible Infrared)*, SPOT 4 üzerine monte edilmiştir. SPOT, CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) tarafından Fransa'da tasarlanmıştır. SPOT 1 1986 yılında, SPOT 2 1990 yılında, SPOT 3 1993 yılında ve SPOT 4 1998

yılında fırlatılmıştır. SPOT 1, 2 ve 3 üzerindeki HRV, multispektral ve pankromatik modlar olarak iki moda sahiptir.

Multispektral modda, 0,50 ile 0,59 μm (band 1), 0,61 ile 0,68 μm (band 2), ve 0,79 ile 0,89 μm (band 3) olmak üzere 20 m çözünürlüğe sahip 3 band bulunmaktadır. PAN modunda, mekansal çözünürlük 10 m ve dalga boyu 0,51 ile 0,73 μm arasındadır. SPOT 4’de HRV’den HRVIR’e geçerken yapılan değişiklikler; band 2 (10 m)’nin mekansal çözünürlüğünde yapılan iyileşme ve 1,58 ile 1,75 μm aralığında olan kısa dalga kızıl ötesi bandın (band 4, 20 m) eklenmesidir. Bu sensörler tarafından ölçülen uzaktan algılanan görüntüler; bitki örtüsü haritaları, litolojik haritalar ve detaylı yeryüzü bilgileri sağlamaktadır. Bunların yanında, SPOT 5 2002 yılında fırlatılmıştır. Band 1 ile band 3 arasında mekansal çözünürlük 10 m’ye arttırılmış; 0,48 ile 0,71 μm dalga boyu aralığında ve 2,5 ile 5 m aralığında mekansal çözünürlüklü PAN bandı geliştirilmiştir.

IKONOS(Space Imaging, ABD)

IKONOS bir yeryüzü gözlem uydusudur ve Space Imaging/EOSAT tarafından 1999 yılında uzaya gönderilmiştir. *IKONOS*’un temel avantajı yüksek mekansal çözünürlüğe sahip olmasıdır. Örneğin, PAN (0,45-0,90 μm) ve multispektral bandlarının [0,45-0,52 μm (mavi), 0,52-0,60 μm (yeşil), 0,63-0,69 μm (kırmızı) ve 0,76-0,90 μm (IR-yakını)] mekansal çözünürlükleri sırasıyla 0,82 m ve 3,3 m’dir. *IKONOS* tarafından ölçülen yüksek mekansal çözünürlük görüntüleri; havadan çekilmiş görüntüler gibi şehircilik, ormancılık ve tarımsal alanlardaki uygulamalarda kullanılmaktadır. Bunların aynı zamanda hassas zirai faaliyetlerde kullanışlı olması beklenmektedir.

QuickBird (DigitalGlobe, ABD)

Digital Globe firmasının *QuickBird* uydusu 2001 yılında fırlatılmıştır. *QuickBird*’ün spektral bandları *IKONOS*’a benzer. Ancak, *QuickBird* daha yüksek mekansal çözünürlüğe sahiptir. PAN (0,45-0,90 μm) ve multispektral bandlarının [0,45-0,52 μm (mavi), 0,52 ile 0,60 μm (yeşil), 0,63 ile 0,69 μm (kırmızı), ve 0,76-0,90 μm (IR-yakını)] mekansal çözünürlüğü sırasıyla 0,61 m ve 2,44 m’dir. *QuickBird*’ün *IKONOS* gibi şehircilik, ormancılık ve zirai faaliyetlerde daha etkin kullanılabileceği beklenmektedir.

AVHRR (TIROS-T ve NOAA, NOAA, ABD)

Gelişmiş Çok Yüksek Çözünürlüklü Radyometre (AVHRR, The Advanced Very High Resolution Radiometer) ilk başta, 1978 yılında uzaya gönderilen *TIROS-N* üzerine ve daha sonra NOAA üzerine monte edilmiştir. *AVHRR*’nin temel özellikleri değişiklik göstermemiş ve yeryüzü gözleminde *AVHRR*’den sürekli olarak yararlanılmıştır. Mevcut *AVHRR* beş banda sahiptir. Bunlar: 0,58-0,68 μm (band 1), 0,725-1,1 μm (band 2), 3,55-3,93 μm (band 3), 10,3-11,3 μm (band 4), ve 11,5-12,5

μm (band 5). AVHRR yaklaşık 1,1 km mekansal çözünürlük sağlamak ve şerit alanı 2399 km genişliğindedir. NOAA, dünyanın çevresini günde 14 defa dolaşırken AVHRR aynı alanı günde iki defa gözlemlemektedir. AVHRR tarafından ölçülen geniş şerit alanlı görüntüler; bulut kaplama alanı, bitki örtü indeksi ve yüzey sıcaklığı gibi çeşitli amaçlar için uygundur. Buna bağlı olarak, bu çalışmalar yüzey özellikleri ve hava durumu hakkında bölgesel ölçekte yararlı bilgiler vermektedir.

MODIS (EOS AM-1 ve PM-1, NASA, ABD)

Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometre (MODIS, The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) optik bir sensördür ve sırasıyla 1999 ve 2002 yıllarında gönderilen EOS AM-1 ve PM-1 üzerine monte edilmiştir.

MODIS, 21 banda (0,4-3,0 μm) ve 15 banda (3,0-14,5 μm) sahiptir. Mekansal çözünürlükler 250 m (2 band), 500 m (5 band) ve 1000 m'dir (29 band). MODIS, yeryüzündeki herhangi bir alanı iki günde bir gözlemleyebilir. Gelecekte, MODIS tarafından ölçülen geniş gözlem şerit alanları yeryüzü gözlemi için AVHRR gibi etkin şekilde kullanılacaktır.

SAR (JERS-1, Japonya; ERS-1/2, EU, RADARSAT, Kanada)

Sentetik Açıklıklı Radar (SAR, Synthetic Aperture Radar) mikrodalgaları kullanarak çalışan aktif bir sensördür; fiziksel özellikleri, pürüzlülüğü ve yer seviyesinin eğimini gözlemlemek için kullanılır. Gözlem neredeyse hava durumundan bağımsızdır ve bulutların üzerinden bile yapılabilir. Özellikle, ormanların, meraların ve tarımsal alanların bitki örtüsü sınıflandırmasında sırasıyla JERS-1, ERS-1/2, ve RADARSAT üzerine monte edilen L (15-30 cm), C (3,75-7,5cm), ve X (2,4-3,75 cm) bandları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Hava Araçlı Uzaktan Algılama Sensörleri

Hava araçlı uzaktan algılama sistemlerinin, uydu üzerinden yapılan uzaktan algılamaya kıyasla; esnek kullanım ve yüksek mekansal çözünürlük avantajları bulunmaktadır. Örneğin Landsat, belirli bir bölgeden her 16 günde bir görüntü alırken, yılda sadece birkaç görüntü işe yaramaktadır. Diğer taraftan hava aracıyla yapılan uzaktan algılamada, mevsimlerdeki hızlı değişimlerin analizinde kullanılabilecek daha fazla görüntü sağlanabilir. Tarımsal uzaktan algılamanın gelişimi için, hem uydu hem de hava araçlarına bağlı uzaktan algılama sensörlerinin kullanımı gerekmektedir.

AVIRIS (JPL, NASA, ABD)

Havadan Görülebilir Kızılötesi Görüntüleme Spektrometresi (AVIRIS, Airborne Visible Infrared Imaging Spectrometer), JPL (Jet Propulsion Laboratory) tarafından geliştirilmiş bir hiperspektral görüntü sensörüdür. AVIRIS; 0,4-2,5 μm aralığında, 10 nm genişlikteki bitişik 224 bandı kapsamakta ve 20 m mekansal

çözünürlüğe izin vermektedir. Hiperspektral bandlar; yeryüzü örtüsü ve bitkilerin tam olarak sınıflandırılması, zirai ürünlerin belirlenmesi ve toprağın kimyasal bileşimlerinin tespiti gibi alanlarda kullanılması beklenmektedir.

CASI (ITRES Research Ltd, Kanada)

Kompakt Havadan Spektrografik Görüntüleyici (CASI, Compact Airborne Spectrographic Imager), AVIRIS gibi hiperspektral bir sensördür. CASI'nın özellikleri; yüksek mekansal çözünürlüklü (0,5–10 m arası) doğrusal dizin (push-broom) yüklenme iştirilmiş araç (CCD, Charge Coupled Device) olması ve 0,4 ile 1,0 µm ayarlanabilir spektral aralık içerisinde 1,9 nm aralıklarla 288 programlanabilir spektral banda sahip olmasıdır.

AISA (Spektral Imaging, ABD)

Uygulama Amaçlı Havadan Görüntüleme Spektrometre (AISA, Airborne Imaging Spectroradiometer for Application), 2 m mekansal çözünürlüğe sahip hiperspektral sensördür ve Spektral Imaging Ltd tarafından geliştirilmiştir. AISA; 0,43 ile 1.0 µm dalga boyu aralığına ve en yüksek spektral band sayısına (512) sahiptir. AISA sensör başı, yeryüzünün görünür yansıtıcılığını hesaplamak için aşağı yönlü güneş ışınımının gerçek zamanlı gözlemlenmesi için bir fiber optik proba (FODIS) sahiptir.

ADS40 (LH Systems, ABD)

Havadan Ölçen Sayısal Sensör (ADS40, Airborne Digital Sensör), LH Systems ve Alman Uzaycılık Merkezi tarafından geliştirilmiştir. Yüksek mekansal çözünürlüğe sahip pankromatik görüntüler sağlaması için ileri-, nadir-, ve geri-bakışlı doğrusal CCD dizilişlerine sahiptir. Üç sıralı stereo görüntüler eş zamanlı olarak alınmakta ve görüntülerin üçlü çakıştırılması yüksek kaliteli sayısal yeryüzü modeli DTM (Digital terrain model) sağlamaktadır. ADS40, multispektral veri için (B[mavi]: 0,43-0,49 µm, G [yeşil]: 0,535-0,585 µm, R[kırmızı]: 0,61-0,66 µm ve NIR[yakın-kızılötesi]: 0,835-0,885 µm) için ilave dizilişlere sahiptir. Multispektral veriler zirai ürün ve arazi kullanımı analizi uygulamalarında 20 cm yüksek çözünürlükle kullanılabilir.

ALTM (Optech, Kanada)

Havadan Lazerli Yeryüzü Haritalayıcı (ALTM, Airborne Laser Terrain Mapper), bir havadan LIDAR (ışık tespit ve aralık belirleme) serisidir ve Optech tarafından 3D aralık ölçümü ve yeryüzü haritalaması için yapılmıştır. ALTM 1025, 1 cm mesafe çözünürlüğüne ve 15 cm mesafe doğruluğuna sahip bir tarayıcı telemetredir. Kullanılan lazerin (Nd:YAG) dalgaboyu ve ışın ıraksaklığı 1064 nm ve 1,2 mrad (veya 0,25 mrad)'dır. Nabız tekrarı ve tarama frekansı sırasıyla 25000 Hz ve 25 Hz'dir. Bir tarama için 1000 noktadan örnekleme verisi alınmaktadır. Bu

sistem, 3D ağaç kanopinin ve bitki biyokütellerinin ve aynı zamanda yeryüzü haritalarının belirlenmesinde kullanışlı olması beklenmektedir.

Yukarıda bahsedilen unsurlara ilave olarak, devlet kurumları ve özel şirketler tarafından multi ve hiper spektral optik görüntüleyiciler, lidarlar ve SAR'lar gibi hava araçları için çok sayıda uzaktan algılama sensörleri üretilmektedir. Havadan uzaktan algılama sensörleriyle ölçülen görüntüler; hava aracının, eğimi, kayması ve uçuş yüksekliğine göre karmaşık düzeltmeye ihtiyaç duymaktadır. Hava aracı sensör görüntülerini hassas şekilde düzeltmek için araç üzerindeki GPS'den ve Ataletsel Ölçüm Birimlerinden (GPS/IMU) elde edilen hava aracı geometri verileri kullanılır.

5.2.3 Landsat ve Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) Verileriyle Arazi Kullanımı ve Azot Akışı Analizi

LANDSAT MSS ile Arazi Kullanımının Sınıflandırılması

Göllerin ve akarsuların ötrifikasyonu; nüfus artışı, endüstriyel ve tarımsal aktivitelerle yakından ilişkilidir [13,14]. Bundan dolayı ötrifikasyon ve arazi kullanımı arasındaki ilişkilerin değişimi, Landsat ve GIS verileri kullanılarak analiz edilmiştir. Şekil 1, iki göle akan akarsu havzalarını ve 1979 ile 1990 arasındaki arazi kullanımındaki değişiklikleri göstermektedir [15]. Göller Tokyo'nun 60 ile 90 km kuzey doğusu boyunca uzanmaktadır.

Kasumigaura gölü, 220 km² su alanı ve 2135 km² havza alanıyla Japonya'nın ikinci büyük gölüdür. Su derinliği sığdır ve 4 m ortalamayla 0 ile 7 m arasında değişmektedir. Göl içerisinde ötrifikasyona, havzadan azot ve fosfor gibi giriş akışı içerikleri neden olmuş, bunun sonucu olarak yaz boyunca alg oluşumları yayılmıştır. Şekil 1'de gösterildiği gibi, her bir akarsuyun havzası, sayısal yükselti modeli DEM (DEM, Digital Elevation Model) kullanılarak izole edilmiştir. Arazi örtüsü, 1979, 1984 ve 1990 yıllarında gözlemlenen LANDSAT MSS verileri kullanılarak beş kategoride (şehir alanı, çeltik tarlası, orman alanı, diğer zirai alanlar ve sulak alanlar) sınıflandırılmıştır. Şehir alanları demiryolu istasyonları ve büyük şehir yolları boyunca hızla büyümüş ve bunun sonucu diğer alanlar azalmıştır.

Farklı Alanlardan Göle Azot Akışı Analizi

Azotun havzadan göle akışı ötrifikasyonda temel faktördür. Bundan dolayı, farklı alan kullanımı sahalarından göle azot akışı alttaki çalışmayla analiz edilmiştir. Havza alanından(*i*) bir nehre yıllık azot akışı (*Li*, kg/yıl) şu şekilde gösterilmiştir:

$$L_i = 10^{-3} C_i \cdot Q_i \quad (1)$$

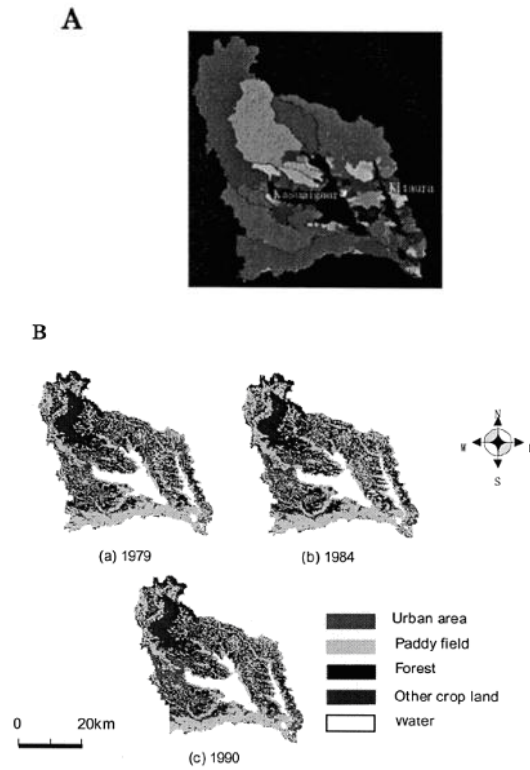
burada *C_i* (mg/l), akarsu ağzı yakınındaki yıllık ortalama toplam azot konsantrasyonu değeri; ve *Q_i* (m³/yıl) ise yıllık akarsu su akışıdır. *Li*'nin toplam *i* havzası alanına oranı (*A_i*, km²) şöyle gösterilmiştir:

$$\frac{L_i}{A_i} = \sum_{j=1}^4 (U_j \cdot r_{ij}) \quad (2)$$

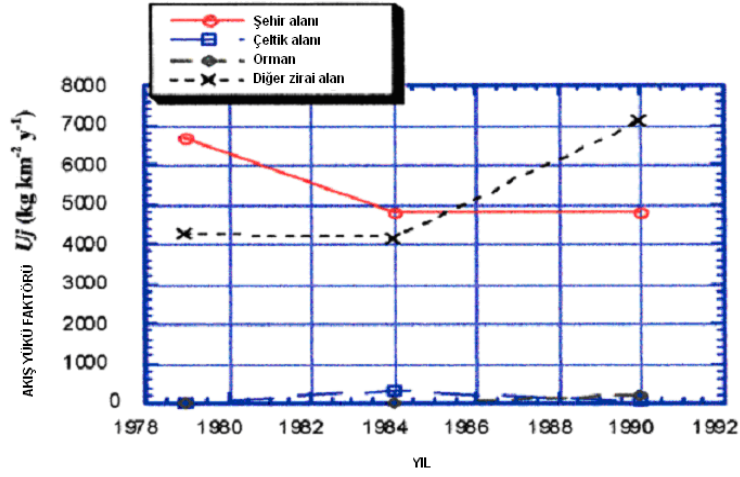
burada j (= 1–4 arasında) her bir şehir alanı, çeltik alanı, orman alanı veya diğer zirai alan kategorisini temsil etmekte; U_j ($\text{kg} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{yıl}^{-1}$) ise her bir j kategorisi için akış oranı yük faktörü olarak adlandırılan katsayıdır; r_{ij} ise i havzasında her bir j kategorisinin A_i 'ye alan oranıdır (A_{ij} , km^2). C_i , on büyük nehirde ölçülen verilerden hesaplanmıştır. Q_i ise her bir nehir havzasının yıllık yağış ve akış oranlarından hesaplanmaktadır. A_i ve r_{ij} , Şekil 1'deki sonuçlardan hesaplanmaktadır. Sadece dört kategorinin U_j 'si bilinmediği için bunlar alttaki denklemde E 'nin minimize edilmesiyle tahmin edilmiştir.

$$E = \sum_i \left(\frac{L_i}{A_i} - \sum_{j=1}^4 (U_j \cdot r_{ij}) \right)^2$$

Şekil 2, dört kategoriye ait toplam azotun hesaplanan akış faktörlerini göstermektedir. Orman ve çeltik alanı akış yükü faktörleri neredeyse sıfırdır. Ancak, şehir ve zirai alanın akış oranları büyük değerler göstermiştir.



Şekil 1. Japonya'daki Kasumigaura ve Kitaura göllerine akan nehir havzaları (A) ve havzalardaki alan kullanımındaki değişiklikler (B). (A)'daki her bir alan, her bir akarsuyun izole olan havzasını temsil etmektedir [15].



Şekil 2. Şehir, çeltik, orman ve diğer zirai alanlar arasında toplam azotun akış yükü faktöründe farklılıkları.

1979'dan 1984'e şehir alanından gelen akıştaki azalma, kanalizasyon sisteminin yayılmasından kaynaklanmış olabilir. Diğer zirai alanlardan gelen akışın 1984'den 1990'a kadar artması, domuz yetiştiriciliğinden kaynaklanmış olabilir.

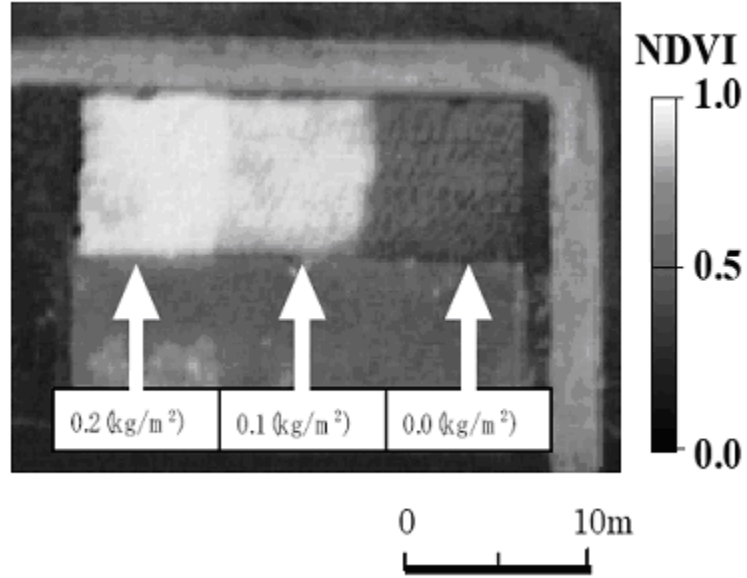
Yağışlardaki değişim de aynı zamanda akış yükü üzerinde etkili olabilir. Şehir alanlarının ve çeltik dışındaki zirai alanların genişlemesinin, göle azot akışının artmasıyla, Kasumigaura Gölünün ötrifikasyonunu artırdığı sonucuna varılmıştır.

5.2.4 Havadan Alınan Hipermekansal Verilerle Buğday Üretimi Tahmini

Suni gübrelerin ve zirai kimyasalların tarımda aşırı; arzı toprak ve suyun kirlenmesine yol açmaktadır. Hassas tarım; bitki üretimini artırmak, su, suni gübre ve zirai kimyasalların kullanımını optimize etmeyi amaçlayan bir kavramdır[16-18]. Bu materyallerin tarladaki mekansal dağılımları uniform değildir. Bu yüzden, uzaktan algılamayla görüntü algılamayı (Bölüm 5.1'de tanımlanmış) birleştiren hiyerarşik uzaktan algılamanın hassas tarımın önemli araçların biri olması beklenmektedir.

Şekil 3, yukarıda bahsedilen ADS40 (LH Systems, ABD) ile ölçümü yapılan, havadan hipermekansal görüntülerinden hesaplanmış *normalleştirilmiş fark bitki indeks (NDVI, Normalized Differential Vegetation Index) görüntüsünü* göstermektedir. Buğday arazisi, Bölüm 5.1'de gösterilen Şekil 3'teki yerle aynı yerdir. Arazinin her bir test alanında ($8 \times 8 \text{ m}^2$), bir önceki yıl dikimden önce 0; 0,1 veya 0,2 kg/m² azot gübresi normu uygulanmıştır. Yaklaşık 20 cm'lik çözünürlükle birlikte dört bandın (R, G, B ve NIR) multispektral görüntüleri; takip eden bahar mevsiminde, buğdayların büyümesi sırasında ölçülmüştür. NDVI; R (0,610-0,660 μm) ve NIR (0,835-0, 885 μm) görüntüleri kullanılarak alttaki denklemle hesaplanmıştır:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (3)$$



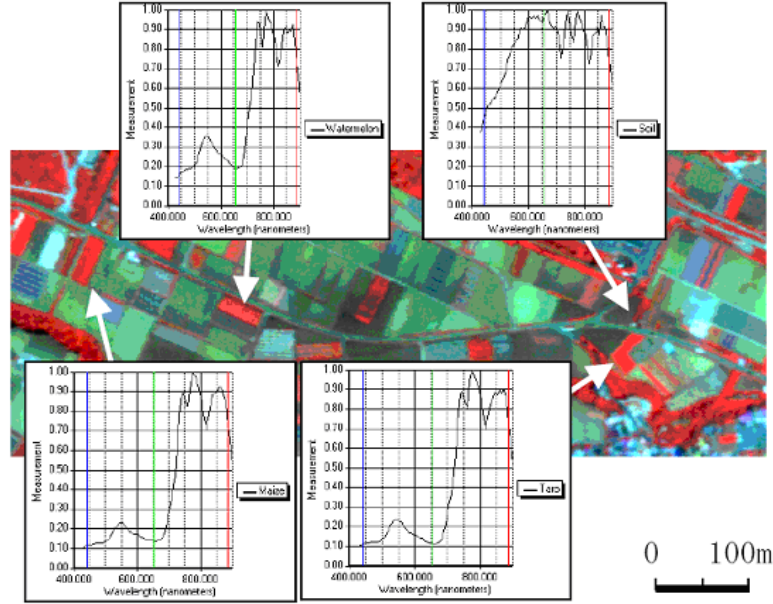
Şekil 3. Buğday tarlasının farklı miktarlarda azot gübresi uygulanmış haliyle NDVI görüntüsü.

NDVI çok amaçlı bir bitki pigment içeriği indeksidir; özellikle fotosentezle alakalı *klorofil a*, Net Birincil Üretim (NPP, Net Primary Production) ve Yaprak Alan İndeksi (LAI, Leaf Area Index) ile ilgilidir [1,19-26]. -1 ve 1 arasında değişir. *Klorofil a*, NPP ve LAI'nın; üreme fazından önceki yetişkin fazı süresindeki artışı, yüksek kızılötesi yakın yansımaya karşı kızıl ışın yansımalarını azaltmakta; bunun sonucu olarak NDVI artmaktadır.

Şekil 3'te gösterildiği üzere, suni gübre uygulaması yapılmış iki test alanı, yüksek büyüme oranına ve yüksek NDVI değerlerine sahiptir. Ancak, gübre uygulaması yapılmayan sağdaki alanın değeri, test alanının altındaki mera alanı değeri kadar düşüktür. Sol taraftaki toprak alan ve üst ve sağ sınırlardaki asfalt yol diğer alanlardan daha düşük değerler göstermiştir. Test alanı ve asfalt yol arasındaki yol kenarı, mera alanı ve yüksek büyüme oranına sahip test alanı değerleri arasında bir değer göstermiştir. Orta alanın buğday ekinleri normal şekilde büyümesine rağmen, en yüksek NDVI değerine sahip sol tarafta bulunan alandakiler rüzgara karşı en düşük toleransa sahiptir. Bu sonuç, NDVI'nin kullanımında dikkate değer bir noktayı ortaya atmaktadır.

5.2.5 Havadan Hiperspektral Verilerle Tarım Arazisinin Analizi

Hiperspektral veriler; çeşitli ekinlerin ve tarla toprakları gibi diğer toprak örtüsünün spektral özelliklerinin analizinde kullanışlıdır [27-31]. Şekil 4, Tokyo'nun yaklaşık 50 km güneyinde, Miura Yarımadasındaki çiftlikteki üç tarla ürünüyle (karpuz, mısır ve gölevez) ve tınlı toprakla kaplı dört alanın spektral özelliklerini göstermektedir. Spektral özellikler, AISA (Spektral Imaging, ABD) tarafından 0,43 ile 0,90 μm aralığında, 70 banddan, 2 m mekansal çözünürlükle ölçülen havadan hiperspektral görüntülerden elde edilmiştir. Miura yarımadası, Japonya'da tipik bir şehire yakın bir tarımsal alandır. Küçük tarlalara bölünmüş çiftlikte; karpuz, mısır, gölevez, lahana, balkabağı ve Japon turpu gibi birçok ürün ılık iklimden dolayı yıl boyunca üretilmektedir.



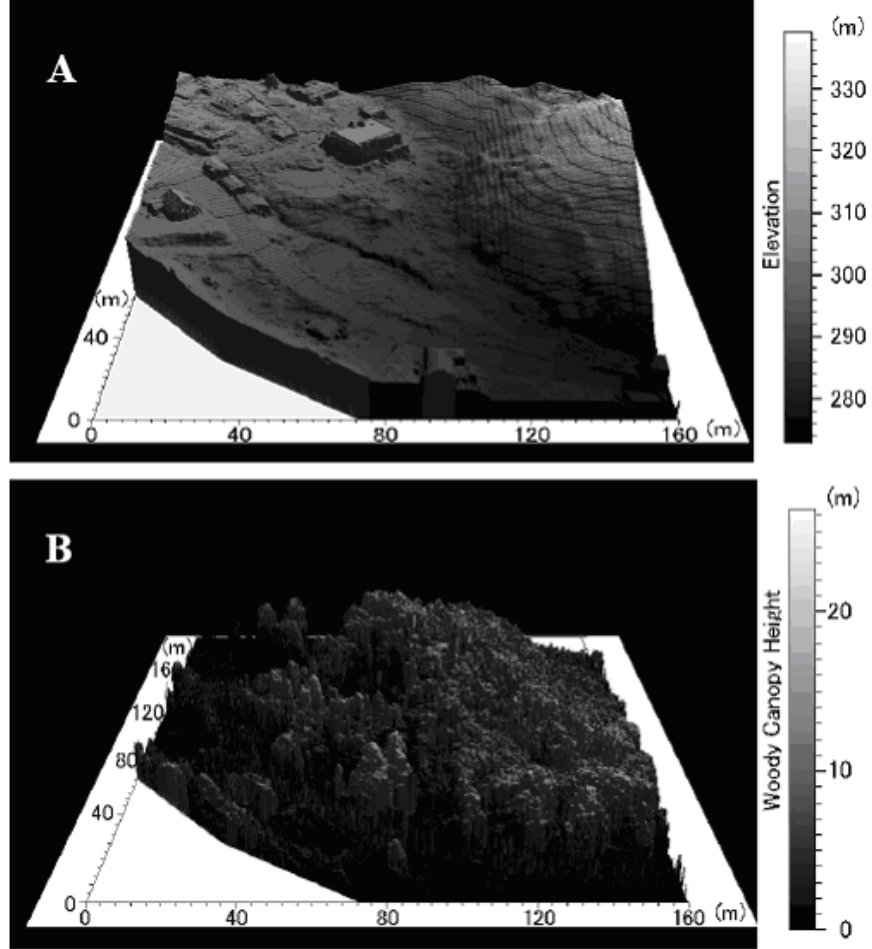
Şekil 4. Çiftlikteki üç tarla ürünü (karpuz, mısır ve gölevez) ve bir balık alanının, havadan hiperspektral görüntülerle elde edilen spektral özellikleri.

Şekil 4'de tarla ürünlerinin spektral özellikleri, görünen aralıktaki fotosentetik pigmentler tarafından büyük bir emilim ortaya koymaktadır. 0,69 ile 0,74 μm aralığındaki kırmızı kenar bölgesinden başlayan ve 0,9 μm 'ye kadar devam eden dik bir artış bulunmaktadır; bu durum Bölüm 5.1'deki Şekil 1'de gösterilen yaprak yansımaya spektrumuna benzerlik göstermektedir. Tınlı toprağın özellikleri de Şekil 1'dekilere benzemektedir ve bunlar tarla bitkilerinin yansımaya spektrumundan açık şekilde farklıdır. Ancak, 0,74 μm ötesindeki yüksek yansımaya bölgesinde bazı düşüşler bulunmaktadır. Bunlara atmosferdeki O_2 (0,76 μm seviyesinde); atmosferdeki H_2O (0,96 μm seviyesinde), ekinler ve toprak ve diğer faktörler sebep olmaktadır. Görünür bölge ile birlikte yakın kızılötesi bölgeyi de içeren aralıktaki spektral özelliklerin analizi; pigment, su, mineral ve besinler ve aynı zamanda ekin bitki türleri, üretimi ve yetiştirme koşulları hakkında daha faydalı bilgi sağlayabilir.

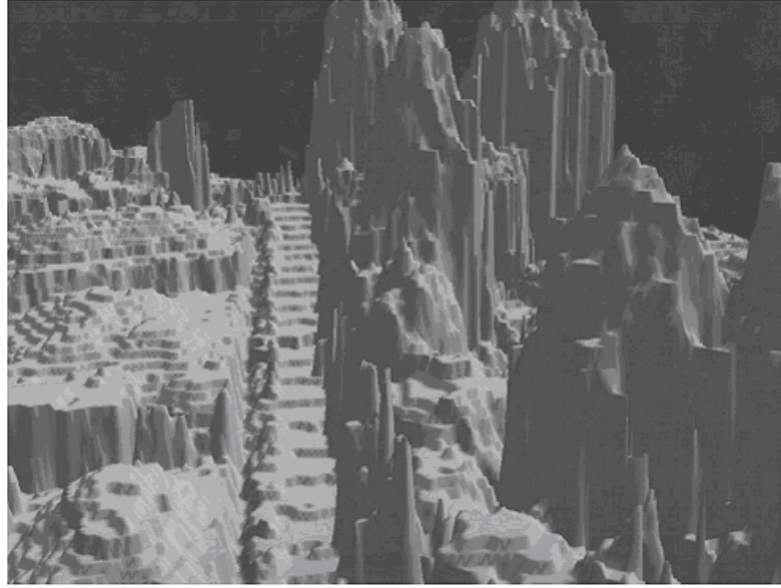
Bundan dolayı hiperspektral uzaktan algılama, hassas zirai faaliyetlerde anahtar araç olması beklenmektedir.

5.2.6 Havadan Lidar Verisiyle Yeryüzü Şekillerinin ve Ormanların 3D Uzaktan Algılaması

Havadan tarama lidarı, doğrudan 3D yeryüzü şekilleri gözlemi için gelişmekte olan *aktif* uzaktan algılama teknolojisidir [7,9-11]. Şekil 5; helikopter bağlantılı tarama lidarı (ALTM 1025 özel model, Optech Co., Kanada ve Aero Asahi Co., Japonya) ile elde edilmiş yeryüzü şekillerinin ve ağaç kanopisinin, yüksek mekansal çözünürlükteki (yaklaşık 33 cm örgüsünde) 3D görüntülerini içermektedir.



Şekil 5. Yüksek mekansal çözünürlüğe sahip helikopter bağlantılı tarama lidarıyla elde edilmiş 3D yeryüzü görüntüleri (A, yer yüzeyi) ve ağaç örtülü (B) [9].



Şekil 6. Şekil 5'deki yerin ilk frekans DEM modundaki 3D kapalı görüntüsü.

Vadinin yeryüzü şekli son atım modu kullanılarak ölçülen, DEM verilerinin interpolasyonu ile yaklaşık 15 cm'lik doğrulukla hesaplanmıştır. Son atım modu gönderilen lazer atımı ve geri dönen atım arasındaki en uzun geçen süreyi ölçmektedir. Ağaç kanopi yüksekliği, en kısa geçen süreyi ölçen ilk atım modu kullanılarak elde edilen DEM verilerinden, yeryüzünün çıkartılmasıyla hesaplanmıştır. Lazerle elde edilen ağaç yükseklikleri; iğne yapraklı ağaçlar için 47 cm'den daha düşük hata payına (RMSE = 19 cm) ve geniş yapraklılar için 40 cm hata payına (RMSE = 12 cm) sahiptir.

Şekil 6, Şekil 5'deki yerin ilk atım modu DEM'in 3D kapalı görüntüsünü göstermektedir. Bu yerin soldaki alanındaki arazi, yerleşim yerine dönüşmüştür. Sağda birkaç ağaç bulunmaktadır. Merkezde, basamaklı düz, dar bir patika yol bulunmaktadır. Görüntüdeki bu basamaklar görüntünün sayısallaştırılmasından kaynaklanmaktadır (örnekleme hatası = yaklaşık 15 cm).

Pasif 2D uzaktan algılama verileriyle birlikte, bu sistemi ve taşınabilir taramalı lidarları kullanarak; tarım alanları ve parkların planlanması, ormanların yönetimi ve ormanların karbon birikiminin (biyokütle) tahmini konularında çalışmaktayız [9,11,32]. Yakın bir gelecekte bu sistemler; ağaçlandırma, tarımsal ormancılık ve su kaynakları yönetimi konularıyla ilgili olarak orman gelişimini yorumlamak için etkin şekilde kullanılacaktır.

Kaynaklar

1. Myers, V. I. 1983. Remote sensing applications in agriculture. Manual of Remote Sensing, 2nd ed., Vol.III, ed. R. N. Colwell, 2111-2228. VA: Amer. Soc. Photogrammetry.
2. Steve, M. D., and J. A. Clark, eds. 1990. Applications of Remote Sensing in Agriculture. London, UK: Butterworths.

3. Owe, M., and G. D'Urso, eds. 2002. Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology III. Bellingham, WA: SPIE.
4. Hobbs, R. J., and H. A. Mooney, eds. 1990. Remote Sensing of Biosphere Functioning. New York, NY: Springer.
5. Rencz, A. N. 1999. Remote Sensing for the Earth Sciences. New York, NY: John Wiley and Sons.
6. Campbell, B. J. 1996. Introduction to Remote Sensing. New York, NY: The Gulford Press.
7. Flood, M., and B. Gutelius. 1997. Commercial implications of topographic terrain mapping using scanning airborne laser radar. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 63: 327-366.
8. Henderson, F. M., and A. J. Lewis, eds. 1998. Principles and Applications of Imaging Radar. New York, NY: John Wiley and Sons.
9. Omasa, K., Y. Akiyama, Y. Ishigami, and K. Yoshimi. 2000. 3-D remote sensing of woody canopy heights using a scanning helicopter-borne lidar system with high resolution. *J. Remote Sens. Soc. Jpn.* 20: 394-406.
10. Lefsky, M. A., W. B. Cohen, G. G. Parker, and D. J. Harding. 2002. Lidar remote sensing for ecosystem studies. *BioSci.* 52: 19-30.
11. Omasa, K., G. Y. Qiu, K. Watanuki, K. Yoshimi, and Y. Akiyama. 2003. Accurate estimation of forest carbon stocks by 3-D remote sensing of individual trees. *Environ. Sci and Tech.* 37: 1198-1201.
12. Dubayah, R., J. B. Blair, J. L. Bufton, D. B. Clark, J. Jaja, R. Knox, S. B. Luthcke, S. B. Prince, and J. Weishampel. 1997. The vegetation canopy lidar mission. *Proceedings of Land Satellite Information in the Next Decade, II: Sources and Applications*, 100-112. Bethesda, MD: Am. Soc. Photogramm. Eng. Remote Sens.
13. Krenkel, P. A., and V. Novotny 1980. *Water Quality Management*. London, UK: Academic Press.
14. Lewis Jr., W. M., J. F. Saunders III, D. W. Crumpacker Sr, and C. Brendecke. 1984. *Eutrophication and Land Use*. New York, NY: Springer-Verlag.
15. Oki, K., Y. Yasuoka, and M. Inamura. 1998. Estimation of annual total nitrogen load to lake from basin with remote sensing. *Proceedings the 19th Asian Conference on Remote Sensing, Philippines*, Q61-66.
<http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1998/ps2/ps2006.shtml>.
16. Hegg, R. 1999. Sustainable and environmental engineering. *CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Vol.III*, eds. B. A. Stout, and B. Cheze, 585-598. St. Joseph, MI: ASAE.
17. Auernhammer, H., and J. K. Schueller. 1999. Precision farming. *CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Vol.III*, eds. B. A. Stout and B. Cheze, 598-616. St. Joseph, MI: ASAE.
18. De Baerdemaeker, J., A. Munack, H. Ramon, and H. Speckmann. 2001. Mechatronic systems, communication, and control in precision agriculture. *IEEE Contr. Syst. Mag.* 21: 48-70.
19. Tucker, C. J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.* 8: 127-150.
20. Jackson, R. D., P. N. Slater, and P. J. Pinter. 1983. Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres. *Remote Sens. Environ.* 15: 187-208.
21. Hinzman, L. D., M. E. Bauer, and C. S. T. Daughtry. 1986. Effects of nitrogen fertilization on growth and reflectance characteristics of winter wheat. *Remote Sens. Environ.* 19: 47-61.

22. Tucker, C. J., W. W. Newcomb, S. O. Los, and S. D. Prince. 1991. Mean and inter-year variation of growing-season normalized difference vegetation index for the Sahel 1981-1989. *Int. J. Remote Sens.* 12: 1113-1115.
23. Fernandez, S., D. Vidal, and E. Simon. 1994. Radiometric characteristics of *Triticum aestivum* cv. Astral under water and nitrogen stress. *Int. J. Remote Sens.* 15: 1867-1884.
24. Reddy, G. S., C. L. N. Rao, L. Venkataratnam, and P. V. K. Rao. 2001. Influence of plant pigments on spectral reflectance of maize, groundnut and soybean grown in semi-arid environments. *Int. J. Remote Sens.* 22: 3373-3380.
25. Singh, R., D. P. Semwal, A. Rai, and R. S. Chhikara. 2002. Small area estimation of crop yield using remote sensing satellite data. *Int. J. Remote Sens.* 23: 49-56.
26. Silleos, N., K. Perakis, and G. Petsanis. 2002. Assessment of crop damage using space remote sensing and GIS. *Int. J. Remote Sens.* 23: 417-427.
27. Demetriades-Shah, T. H., M. D. Steven, and J. A. Clark. 1990. High resolution derivative spectra in remote sensing. *Remote Sens. Environ.* 33: 55-64.
28. Malthus, T. J., B. Andriew, F. M. Danson, K. W. Jaggard, and M. D. Steven. 1993. Candidate high spectral resolution infrared indices for crop cover. *Remote Sens. Environ.* 46: 204-212.
29. Carter, G. A. 1994. Ratios of leaf reflectances in narrow wavebands as indicators of plant stress. *Int. J. Remote Sens.* 15: 697-703.
30. Cochrane, M. A. 2000. Using vegetation reflectance variability for species level classification of hyperspectral data. *Int. J. Remote Sens.* 21: 1113-1115.
31. Kokaly, R. F. 2001. Investigating a physical basis for spectroscopic estimates of leaf nitrogen concentration. *Remote Sens. Environ.* 75: 153-161.
32. Omasa, K., Y. Urano, H. Oguma, and Y. Fujinuma. 2002. Mapping of tree position of *Larix leptolepis* woods and estimation of diameter at breast height (DBH) and biomass of the trees using range data measured by a portable scanning lidar. *J. Remote Sens. Soc. Jpn.* 22: 550-557.