MISIR BİTKİSİNİN VERİMİNİN İZLENMESİNDE İLERİ TEKNOLOJİ UYGULAMALARI

Nghi TAN DO¹, Zehra YİĞİT AVDAN²

¹Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, 26555, Tepebaşı, Eskişehir, tanngi91@gmail.com

²Yrd. Doç. Dr., Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, 26555, Tepebaşı, Eskişehir, ziyigit@anadolu.edu.tr

ÖZET

21. yüzyılda, hassas tarımın giderek yaygınlaşması ile birlikte ürün verimi artmakta ve tarımsal faaliyetlerdeki maliyetler düşmektedir. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), Uzaktan Algılama (UA) ve Global Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS), tarımsal üretimin hassasiyetinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle, uzaktan algılama teknolojisi ve üst düzey görüntü işleme teknikleri ile birlikte, daha hassas analizler gerçekleştirilmektedir. Son yıllarda Sentinel-2 uydusu, Worldview uydusu ve insansız hava araçlarından (İHA'lar), görünür, kızıl ötesi, yakın kızıl ötesi ve kısa dalga kızıl ötesi bantları ile birlikte yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilebilmektedir. Normalize Edilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI), Ayarlanmış Toprak Bitki İndeksi (SAVI), Fark Bitki İndeksi (DVI), Klorofil İndeksi (CI), gibi indisler mısır ürün verimi arasındaki ilişkiyi hesaplamak ve belirlemek için kullanılmaktadır. Bu çalışmada, ürün verim tahmininin doğruluğunu izlemek ve geliştirmek için indislerinin kullanımı ve karşılaştırması detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler: uzaktan algılama, hassas tarım, Sentinel-2, Worldview, İHA, bitki indisleri, bitki verimi

ABSTRACT

ADVANCED TECHNOLOGY APPLICATION FOR MONITORING THE CROP YIELD OF MAIZE

In the 21st century, precision agriculture is becoming more and more common, increasing crop yield and reducing costs in agriculture. Geographic technology (Geographic Information System-GIS, Remote sensing, Global Navigation Satellite System-GNSS) plays an important role in determining input variables of precision agriculture system. In particular, Remote sensing technology with higher-end image processing techniques are followed to establish more precision. In recent years, Sentinel-2 satellite, Worldview satellite and Unmanned aerial vehicles (UAVs) provide high resolution imagery along with spectral bands from visible to near infrared and short wave infrared that is the basis to improve accuracy for calculating vegetation indices such as normalized difference vegetation index (NDVI), soil adjusted vegetation index (SAVI), difference vegetation index (DVI), chlorophyll index (CI), etc. The purpose of this paper is to use the Sentinel-2, Worldview and UAV imagery to calculate and determine the relationship between vegetation indices and maize crop yield. The study result clearly imply the need to use multiple vegetation indices to monitor development of maize and improve the accuracy of crop yield forecasting.

Keywords: remote sensing, precision agriculture, Sentinel-2, Worldview, UAVs, vegetation indices, crop yield

1. GİRİŞ

Günümüzde, uzaktan algılama (yer tabanlı, havadan ve uydu) geliştirilerek, tarımda bu veriler giderek daha fazla kullanılmaktadır. Tarımsal kullanım için birçok yeni teknoloji geliştirilmiştir. Bunlara örnek olarak: Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) ve Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS) gibi düşük maliyetli konumlandırma sistemleri, proksimal biyokütle ve yerleşik arazi motorlarına monte edilen algılayıcıların yaprak alan indeksi tayini, toprak özelliklerini ölçen jeofiziksel algılayıcılar verilebilir (Pierce ve Nowak, 1999; Gibbons, 2000). Kombinasyon halinde, bu yeni teknolojiler çok sayıda uygun maliyetli, yüksek çözünürlüklü bilgi üretmekte ve sıklıkla Hassas Tarım olarak adlandırılan ince ölçekli veya sahaya özgü tarımsal yönetimin geliştirilmesinde önemli bir yer tutmaktadır.

Uzaktan algılama (RS) uzun zamandır tarımsal faaliyetlerin izlenmesi ve analizinde kullanılmıştır. 1958'de ABD'nin Denizcilik Araştırmaları Ofisi'nden Evelyn Pruitt tarafından "uzaktan algılama" teriminin ilk kodlanmasından önce, bilim adamları Birleşik Krallık'taki tarım alanları ile ilgili toprak ve ürün araştırmalarını tamamlamak için hava fotoğrafçılığı kullanıyorlardı (Tenkorang ve Lowenberg-DoBoer 2008).

Uzaktan algılama, ürün sınıflandırmasında, ürün sağlığında ve verim değerlendirmesinde önemli bir rol oynamıştır. Dijital uzaktan algılama verileri ile ürün sınıflandırmasının en erken aşamalarından beri, denetimli ve denetimsiz sınıflandırma tekniklerinin uygulanmasına dayanan çok sayıda yaklaşım, ürünlerin coğrafi dağılımlarını haritalamak ve ekim uygulamalarını karakterize etmek için kullanılmıştır. Coğrafi bölgeye, ürün çeşitliliğine, tarla büyüklüğüne, ürün fenolojisine ve toprak durumuna bağlı olarak, çok merkezli veri ve sınıflandırma şemalarının farklı bant oranları uygulanmıştır. Uzun süreli yüksek frekanslı uzaktan algılama uygulamaları için Landsat-8 ve Sentinel-2A en gelişmiş

uydulardır. Landsat-8, 15m, 30m, 100m'de ve 16 günlük revisit süresinde yüksek kaliteli multispektral görüntüler sunan Operasyonel Land Imager (OLI) algılayıcılıdır. Sentinel-2A ve Sentinel-2B, farklı mekânsal çözünürlüklerde (10m, 20m ve 60 m) 13 bant bilgisi edinebilen Multispektral Aletler (MSI) ile donatılmıştır.

Dronlar veya insansız hava araçları (İHA'lar), uzaktan gözetim için I. Dünya Savaşı'ndan beri askeri amaçlı kullanılmıştır. Son on yılda çiftçiler, tarlalarını izlemek ve hassas tarım programlarına yardımcı olmak için kullanmaya başladılar. Tarımda, İHA'lar tipik olarak, uzaktan algılamadan elde edilen veri toplanması için çok uygun olan, düşük maliyetli, hafif ve düşük hava hızı olan uçaklardır. Aynı zamanda yüksek görüntü çözünürlüğüne sahip uydu ve havadaki algılayıcılara kıyasla güçlü avantajlara sahiptirler (Jannoura, R. vd. 2015). Üretimin artışı, verimliliğin ve karlılığın artırılması, çevresel etkilerin azaltılması ve büyük çiftliklerden elde edilen ölçülebilir verilerin bulunabilirliği, İHA'ların sağladığı hassas tarımın faydalarından bazılarıdır (Herwitz, vd. 2004, Xiang ve Tian, 2011).

2. HASSAS TARIMA GENEL BAKIŞ

2.1 Hassas Tarımın Tanımı ve Tarihçesi

Ürün sistemlerinde Hassas Tarım kavramı, 1980'lerin sonlarında, gübreler için yeni geliştirilen değişken oranlı uygulama ekipmanıyla toprak kimyasal özelliklerinin ızgara tabanlı örnekleme ile ortaya çıkmıştır.

1990 civarında, NAVSTAR Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) sivil kullanım için sınırlı bir kapasiteye sahip olmuştur. 1993'e gelindiğinde, GPS tamamen operasyoneldi ve bir dizi ürün verimi izleme sistemi, alanlardaki verim çeşitliliğinin ince ölçekli izlenmesi ve haritalandırılmasına izin veriyordu. Verim izleme sistemleri geliştirilirken, iş birliği bilgi için grid örnekleme dışındaki yöntemlerin geliştirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Pek çok örnekte, toprak ve ürün parametrelerindeki değişkenliği doğru bir şekilde tanımlamak için gerekli olan yoğunlukta ızgara örnekleme maliyet getirici olduğunu ve 1990'lı yılların sonuna kadar "bölgesel" bir yönetim yaklaşımının yönetim için gerçek bir seçenek haline geldiğini ortaya koymuştur.

Toprak ve ürün parametrelerinin sürekli olarak ölçülmesi ya da çıkarılması için yeni sistemler, hem proksimal (yani, yere dayalı platformlarda) hem de uzak (yani, hava ve uydu) platformları kullanılarak geliştirilmeye devam etmektedir.

1990'ların sonlarından beri tahıl olmayan ürünler üzerinde daha fazla araştırma yapılmıştır. Ayrıca, hassas tarım teknolojisinin çevresel denetleme yeteneklerine ve ürün izlenebilirliği potansiyeline daha fazla vurgu yapılmaktadır. Global Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS) teknolojisindeki gelişmeler, 1999 yılından beri makine rehberliği, otomatik direksiyon ve kontrollü trafik çiftçiliği (CTF) için kapıyı açmıştır.

Hassas tarımın birçok tanımı vardır:

- Hassas Tarım, yaban hayatı ve çevre üzerindeki istenmeyen etkileri en aza indirirken uzun vadeli, alana özgü ve tüm çiftlik üretim verimliliğini, üretkenliğini ve karlılığını arttırmak için tasarlanmış entegre bir bilgi ve üretim tabanlı bir tarım sistemidir (ABD Temsilciler Meclisi, 1997).
- Hassas Tarım, Sahaya Özel Mahsul Yönetimidir - Kaynak uygulamaları ve tarımsal uygulamalarla ilgili kararlar, tarlada farklılık gösterdikçe, toprak ve mahsul ihtiyaçlarını daha iyi karşılayacak şekilde geliştirilir.
- Hassas Tarım, çeşitli yeni veya ileri teknolojilere dayalı, ürün üretimi konusunda yenilikçi bilgi kontrollü yönetim konseptidir.
- Hassas tarım, tarımsal üretim süreçlerini izlemek ve optimize etmek için dijital teknikler kullanan modern bir tarım yönetimi kavramıdır.

Hassas Tarımın bileşenleri Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS), Verim izleme ve verim haritalama, Algılayıcılar ve veri toplama yöntemleri, Veri analizi, Değişken oran teknolojisi (VRT) ve Uzaktan algılamadır (**Şekil 1**).

Venkataratnam, 2001'e göre, hassas tarım veri tabanı genellikle şunları içerir:

- Büyüme aşaması, sağlık, besin gereksinimi gibi bitki bilgileri
- Toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri, derinliği, dokusu, besin durumu, tuzluluk ve toksisitesi, toprak sıcaklığı, verimlilik potansiyeli
- Kanopi sıcaklığı, rüzgar yönü ve hız, nem gibi mikro iklimsel veriler (mevsimsel ve günlük)
- Yüzey ve alt yüzey drenaj koşulları
- Sulama tesisleri, su mevcudiyeti ve diğer girdilerin planlanması

Şekil 1. Hassas tarım bileşenleri.

2.2 Hassas Tarımda Uzaktan Algılamanın Rolü

Uzaktan algılama teknolojisi, hassas tarımın temel bir bileşenidir ve giderek artan sayıda bilim insanı, mühendis ve büyük ölçekli yetiştiriciler tarafından kullanılmaktadır. Son yirmi yılda, uzaktan algılama veri toplama yeteneklerinin geliştirilmesi, yer tabanlı, havadan ve uydu gözlemlerinin veri işleme ve yorumlanması, uzaktan algılama teknolojilerini ve hassas ürün yönetim sistemlerini birleştirmeyi mümkün kılmıştır (Waheed vd. 2006).

Uydu görüntüleri, dünya çapında, bir zaman dilimi içinde ve belirli bir fiyata herhangi bir alanda edinilebilir. Şu anda, daha yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri, önceki kısıtlamaların üstesinden gelir ve bu verilerin, tarımsal analiz, istatistik ve sübvansiyon kontrolü dahil olmak üzere bölgesel yönetim için hızlı ve kolay bir araç olarak kullanılmasına izin verir. WorldView halihazırda tarım ve sivil kullanımları için mevcut olan en yüksek çözünürlüğe sahip uydudur. WorldView, bitki örtüsü, orman ve çevresel proje yönetimini desteklemek için bitki örtüsü, toprak ve çevre analizi için doğru bant kombinasyonlarını filtrelemek için çeşitli bitki örtüsü endeksleri sağlayabilir (Şekil 2).

WorldView-2 40cm NDVI Index

WorldView-2 40cm Moisture Map

Şekil 2. Güney Afrika'daki WorldView-2 NDVI İndeks ve Nem Haritası [http-1].

Yeni multispektral ve hiperspektral algılayıcılar, hızlı ve verimli bir şekilde ve daha yüksek mekânsal ve spektral çözünürlüklerde çok miktarda veri üretmektedir. Elektromanyetik spektrumun görünür, yakın kızıl ötesi ve orta kızılötesi bölgelerinden gelen yansılardan oluşan hiperspektral ve multispektral görüntüler, fiziksel parametreler (mahsul örtüsü, mahsul sağlığı ve toprak nemi gibi) açısından yorumlanabilir (Barnes ve Baker, 2000; Barroso vd. 2008; Hinzman, 1986; Lelong, 1998; Pal ve Mather, 2003; Singh vd. 2007; Tilling vd. 2007; Yang vd. 2003).

Buğday (Lelong, 1998; Silva ve Beyl, 2005; Tilling vd. 2007), çeltik pirinci (Stroppiana vd. 2008), sorgum (Zhao vd. 2005), mısır (Samson, 2000), brokoli (Shikha, 2007), turuncgil (Min, 2003), üzüm (Smart vd. 2007), elma (Perry ve Davenport, 2008) gibi farklı bitkilerin besin içerikleri de hiperspektral ve multispektral UA verileri kullanılarak değerlendirilmiştir. UA verilerinin yorumlanması genellikle jeostatistik, görüntü analizi, sınıflandırma ve yapay zekâ gibi özel tekniklerle desteklenmektedir.

UA teknikleri ayrıca, mahsul durumunun ve verim tahminlerinin, belirli bitkilerin tahminlerinin, bitki zararlıları ve hastalıkların tespitinin, felaketin konumunun ve haritalamanın, yaban hayatı yönetiminin, su tedarik bilgilerinin ve yönetiminin, hava durumu tahminlerinin, mera yönetimi ve hayvancılığın değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Ürünlerin bazı hastalıkları ve böcek zararlıları uzaktan algılama ile izlenebilir. Riedell vd. (2004), haşere istilası ve hastalıklı bitkileri tanımlamak için uzaktan algılama teknolojisini etkili ve ucuz bir yöntem olarak ortaya koymuştur. Özel böcek haşerelerini tespit etmek ve yulafta böcek ve hastalık hasarı arasında ayırım yapmak için uzaktan algılama tekniklerini kullanmışlardır. Sonuçlar, böcek istilası hasarı ile hastalık enfeksiyonu hasarı arasındaki kanopi karakteristikleri ve spektral yansıma farklılığının, yulaf mahsulü kanopilerinde uzaktan algılama ile ölçülebileceğini ancak bu farklılıkların bir büyüme mevsiminden diğerine tutarlı olmayabileceğini göstermiştir.

Tarımda UA uygulamaları, gıda güvenliği, yoksulluğun azaltılması ve sürdürülebilir kalkınma ile ilgili bir dizi politika düzeyinde kararlar için UA görüntülerinden elde edilen bilgilerin kullanıldığı bir aşamaya ilerlemiştir. Gıda tanelerinin bir tampon stokuna ilişkin karar, hasat öncesi ekim alanı ve üretim tahminlerine dayanabilirken, yeraltı suyu potansiyeli haritaları, yağmur suyuyla beslenen ve daha az elverişli bölgelerde içme suyu ve diğer ihtiyaçların sağlanmasında önemli bir bilgi kaynağı olarak hizmet etmektedir. Ülke çapında arazi kullanımı, arazi örtüsü, toprak ve çorak haritalama, tarımsal faaliyetlerin genişletilmesi ve yoğunlaştırılmasında ve arazi yeterlilik sınıflarının ve ürün uygunluğu endekslerinin belirlenmesinde yardımcı olmuştur (Venkataratnam, 2001).

3. MISIR ÜRÜN VERİMİNİ İZLEMEK İÇİN BİTKİ İNDEKSLERİ

Bitkilerin biyofiziksel özellikleri, birimsiz radyometrik ölçümler olarak tanımlanan bitki örtüsü indeksleri ile spektral olarak tanımlanabilir. Bunlar, VIS, NIR ve SWIR dalga boylarında iki veya daha fazla bandın oranları veya farklılıkları olarak hesaplanır. Bir bitki örtüsü indeksinin faydası, bitkilerin biyofiziksel parametreleri ile yüksek korelasyonu ve uzaktan algılama verilerinin yorumlanmasını engelleyen faktörlere karşı düşük hassasiyet ile belirlenmektedir. Bunlar; toprak arka planı, kabartma, bitkilerin fotosentez unsurları, atmosfer, görüntüleme ve aydınlatma geometrisidir (Huete ve Justice 1999). En yaygın kullanılan indeks, Rouse vd. tarafından önerilen Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksidir (NDVI). NIR ve kırmızı bölgelerdeki yansıma ve yansıma toplamının bir bölümü olarak hesaplanmıştır.

NDVI indeksi, ekili bitkilerin durumunu, gelişim evrelerini ve biyokütlelerini belirlemek ve verimlerini tahmin etmek için en sık kullanılan yöntemdir. NDVI en yaygın olarak kullanılan bitki örtüsü indeksi hâline gelmiştir (Wallace vd. 2004, Calvao ve Palmeirim 2004). NDVI'nın başarısı, kanopi Yaprak Alan İndeksi ve fAPAR (Absorbe Fotosentetik Aktif Radyasyonun fraksiyonu) ile olan yakın ilişkisinden kaynaklanmaktadır.

Yaprak alan indeksi (LAI), arazi ekosistemlerinde en önemli yapısal parametrelerden biridir ve bitki örtüsü ile atmosfer arasındaki madde ve enerji değişimini etkiler. Aynı zamanda hidrolojik, ekolojik ve iklim modelleri için önemli bir girdi faktörüdür (Chen ve Black, 1991). Bitki yaprağı alan indeksinin (LAI) ve tarımsal alanlardaki mekânsal dağılımının değerlendirilmesi, mahsul büyümesi izleme, bitki örtüsü stresi, mahsul tahmini, verim tahminleri ve yönetim uygulamaları gibi çeşitli tarımsal sorunların ele alınmasında önem taşımaktadır.

Toprağın uzaktan algılanan bitki örtüsü üzerindeki etkisini sınırlayan bir bitki örtüsü indeksi örneği, Huete (1988) tarafından önerilen SAVI (Toprak Düzeltilmiş Bitki Örtüsü İndeksi) 'dir. Bir diğeri ise, VARI indeksi (Görünür Atmosferik Dayanıklılık Endeksi) (Gitelson vd. 2002), atmosferin etkisini büyük ölçüde azaltır. Yine de, NIR ve SWIR aralıklarındaki yansıma farklılıkları, bitkiler için su eksikliğinin ortaya çıktığını belirterek daha fazla geliştirilmiştir. Bu indeksler; MSI (Moisture Stress Index) (Rock vd. 1986), LWCI (Yaprak Suyu İçerik İndeksi) (Hunt vd. 1987), WI (Su İndeksi) (Panuelas vd. 1993), GVMİ (Küresel Bitki Islahı Nüfusu İndeksi) (Ceccato vd. 2002) ve SIWSI (Kısa Dalga Kızılötesi Su Stres İndeksi) (Fensholt ve Sandholt 2003). Bitkilerin yeşil kısımları, yaprak mezofilinde saçılma nedeniyle NIR bölgesinde yoğun olarak yansır ve kırmızı/mavi ışığı klorofil indeksi (CI) ile kuvvetlice emmektedir (Ayala-Silva ve Beyl 2005).

Buna karşılık, CWSI (Ürün Su stresi İndeksi) (Jackson vd. 1981), ST (Yüzey Sıcaklığı) (Jackson 1986), WDI (Su Eksikliği İndeksi) (Moran vd. 1994) ve SI (Stres) gibi bitki örtüsü indeksleri (Vidal vd. 1994) bitkilerin su stresi ve termal özellikleri arasındaki ilişkiyi tanımlamaktadır.

4. MISIR ÜRÜN VERİMİ TAHMİNİ İÇİN İLERİ TEKNOLOJİ UYGULAMASI

Ürün verim tahmini, herhangi bir çiftçi işletmesinin önemli bir çalışma alanıdır. Çoğunlukla, tohumlar, ekim yoğunluğu, gübreler, sulama, böcek ilaçları ve herbisitler gibi çeşitli girdiler, yem / tane verimi tahminine bağlıdır. Verim tahminleri, ürün mevsiminde aralıklarla toprak verimliliğinin ve nem parametrelerinin, hava durumu raporlarının, ürün genotipinin ve fenomik özelliklerinin ayrıntılı analizi kullanılarak sağlanabilir.

Uzaktan algılama, ürün verimini öncelikle verim ve bitki örtüsü indeksleri arasındaki istatistiksel-ampirik ilişkilere dayanarak tahmin etmek için kullanılmıştır (Thenkabail vd. 2002, Casa ve Jones 2005). Kamu kurumları ve üreticiler için hasat, depolama, nakliye ve pazarlama faaliyetlerinin planlanmasında beklenen getiri hakkında bilgi çok önemlidir. Bu bilgi ne kadar erken olursa, ekonomik risk ne kadar düşük olursa, daha fazla verim ve yatırımların geri dönüşüne dönüşmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmanın amacı son yıllarda hızla gelişen hassas tarım hakkında bilgi edinmektir. Bitkisel verimi tahmin etmeyle ilgili vejetasyon indekslerini ve araştırmalarını özetlemektedir. Hassas tarımda kullanılan son derece ileri teknolojiler, bu üretimin gerçekleştiği çevresel koşulları karakterize eden ayrıntılı bilgilere sürekli erişim gerektirir. Bu bilgiler alan ölçeğinde havadan ve uydu görüntülerinden elde edilebilir.

NDVI hassas tarımda en yaygın kullanılan bitki örtüsü indeksidir. Yaprak alan indeksi (LAI), arazi ekosistemlerinde en önemli yapısal parametrelerden biridir ve bitki örtüsü ile atmosfer arasındaki madde ve enerji değişimini etkiler. Bitkilerin ve toprakların besin içeriğine dayalı bitkilerin döllenme ihtiyaçlarını belirlemek için uydudan, havadan gelen (İHA'lardan) ve toprak platformundan toplanan uzaktan algılama görüntülerine ve toprağa dayalı verilere dayanarak, hasat tohumlarının ve meyvelerinin kalitesini artırmaya yardımcı olmaktadır. Uzaktan algılama aynı zamanda bitkilerin su ihtiyaçlarını değerlendirmek ve sulama başlangıcını belirlemek için, su stresi koşulları altında mahsul üretimini yönetmeyi kolaylaştıracak şekilde kullanılmıştır.

Araştırmalar, mısır veriminin bitki örtüsü indeksleri ile ilişkisi olduğunu ve mısır verimini tahmin etmek için matematiksel formül oluşturmak için bu ilişkiye dayalı olduğunu ortaya koymaktadır.

Gelecekte uzaktan algılama sisteminin geliştirilmesi, uzaktan algılama parametrelerinin karar destek sistemleriyle bütünleştirilmesidir. Mevcut ürün simülasyon modelleri ile uzaktan alınan verileri birleştirmek, karar destek sistemlerinin güvenilirliğini artıracak ve modern tarımsal üretim yönetimine katkıda bulunacaktır.

KAYNAKLAR

- Atzberger, C.**, 2013. Advances in Remote Sensing of Agriculture: Context Description, Existing Operational Monitoring Systems and Major Information Needs. *Remote Sens*, 5.
- Chang, J.; Clay, E.D.; Dalsted, K.; Clay, S.; O'Neill, M.**, 2003. Corn (*Zea mays*L.) Yield Prediction Using Multispectral and Multidate Reflectance. *AGRONOMY JOURNAL*, VOL. 95.
- Crommelinck, S.; Höfle, B.**, 2016. Simulating an Autonomously Operating Low-Cost Static Terrestrial LiDAR for Multitemporal Maize Crop Height Measurements. *Remote Sens*, 8, 205.
- Durgun, Ö.Y.; Gobin, A.; Gilliams, S.; Duveiller, G.; Tychon, B.**, 2016. Testing the Contribution of Stress Factors to Improve Wheat and Maize Yield Estimations Derived from Remotely-Sensed Dry Matter Productivity. *Remote Sens*, 8, 170.
- Eckert, S.**, 2012. Improved forest biomass and carbon estimations using texture measures from WorldView-2 satellite data. *Remote Sens*, 4, 810–829.
- Http-1**, “WorldView-2 NDVI Index and Moisture Map in South Africa” <https://www.satimagingcorp.com/applications/natural-resources/agriculture/>, Date accessed: 30.07.2018.
- K. R. Krishna**, 2016. Drones in agriculture: soil fertility and crop management. *Push Button Agriculture*, 13: 978-1-77188-305-4, Taylor & Francis Group.
- Kira, O.; Nguy-Robertson, L.A.; Arkebauer, J.T.; Linker, R.; Gitelson, A.A.**, 2017. Toward Generic Models for Green LAI Estimation in Maize and Soybean: Satellite Observations. *Remote Sens*, 9, 318.

- Maresma, Á.; Ariza, M.; Martínez, E.; Lloveras, J; A. Martínez-Casasnovas, J.,** 2016. Analysis of Vegetation Indices to Determine Nitrogen Application and Yield Prediction in Maize (*Zea mays* L.) from a Standard UAV Service. *Remote Sens*, 8, 973.
- Mueller, D.N.; Gerber, S.J.; Johnston, M.; Ray, K.D.; Ramankutty, N.; Foley, A.J.,** 2012. Closing yield gaps through nutrient and water management. *Macmillan Publishers Limited, Nature, Vol 000*.
- Nellis, M. Duane; Price, Kevin P.; Rundquist, Donald.,** 2009. Remote Sensing of Cropland Agriculture. *Natural Resources*, 217.
- Nouri, H.; Beecham, S.; Anderson, S.; Nagler, P.,** 2014. High Spatial Resolution WorldView-2 Imagery for Mapping NDVI and Its Relationship to Temporal Urban Landscape Evapotranspiration Factors. *Remote Sens*, 6, 580-602.
- Peng, Y.; Nguy-Robertson, L.A.; Arkebauer, J.T.; Gitelson, A.A.,** 2017. Assessment of Canopy Chlorophyll Content Retrieval in Maize and Soybean: Implications of Hysteresis on the Development of Generic Algorithms. *Remote Sens*, 9, 226.
- Seelan, K.S.; Laguet, S.; Casady, M.G.; Seielstad, A.G.,** 2003. Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach. *Remote Sensing of Environment*, 88, 157–169.
- Udelhoven, T.; Delfosse, P.; Bossung, C.; Ronellenfitch, F.; Mayer, F.; Schlerf, M.; Machwitz, M.; Hoffmann, L.,** 2013. Retrieving the Bioenergy Potential from Maize Crops Using Hyperspectral Remote Sensing. *Remote Sens*, 5.
- Wolf, A.F.,** 2010. Using WorldView 2 Vis-NIR MSI imagery to support land mapping and feature extraction using Normalized Difference Index Ratios. *Proc. SPIE*, 8390, doi:10.1117/12.917717.
- Wójtowicz M., Wójtowicz A., Piekarczyk J.,** 2016. Application of remote sensing methods in agriculture. *Communications in Biometry and Crop Science*, 11, 31–50.
- Yang G, Liu J, Zhao C, Li Z, Huang Y, Yu H, Xu B, Yang X, Zhu D, Zhang X, Zhang R, Feng H, Zhao X, Li Z, Li H and Yang H.,** 2017. Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing for Field-Based Crop Phenotyping: Current Status and Perspectives. *Front. Plant Sci.* 8:1111.
- Yu, B.; Shang, S.,** 2017. Multi-Year Mapping of Maize and Sunflower in Hetao Irrigation District of China with High Spatial and Temporal Resolution Vegetation Index Series. *Remote Sens*, 9, 855.
- Zaman-Allah, O Vergara, J L Araus, A Tarekegne, C Magorokosho, P J Zarco-Tejada, A Hornero, A Hernández Albà, B Das, P Craufurd, M Olsen, B M Prasanna and J Cairns.,** 2015. Unmanned aerial platform-based multi-spectral imaging for field phenotyping of maize. *Plant Methods*.