





Mini İnsansız Hava Aracının Tahıl Islah Parsellerinde Verim Tahmininde Kullanılabilirliği

Mesut UYANER¹ 
İlker TOPAL³ 

Muhammet KARASHAHİN² 
Enes YAKIŞIR³ 

Mesut BİLİCİ¹ 
Ramazan KELEŞ³ 

¹Necmettin Erbakan Ü., Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, Konya
²Selçuk Ü., Çumra Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Organik Tarım İşletmeciliği Bölümü, Çumra, Konya
³Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Konya
mkarasahin@selcuk.edu.tr

Öz

Binlerce parsellerden oluşan ıslah programlarının başarıya ulaşabilmesi, yüksek verimli fenotipleme (HTP) kullanımına bağlıdır. İnsansız hava araçları (İHA) yüksek verimli fenotipik seleksiyon için bir fırsat oluşturmaktadır.

Araştırma sonuçlarına göre İHA ile elde edilen NDVI değerleri ile yersel ölçümlerle elde edilen NDVI değerleri arasındaki ilişkilerin istatistiki olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($P < 0.05$). Yersel ölçümlerle elde edilen değerlerin buğdayda %34'ünün, arpada ise %25'inin İHA NDVI değerleri ile açıklanabileceği görülmüştür. Ancak elde edilen belirteci katsayıları değerleri bu ilişkilerin açıklanmasında yetersiz kaldığını göstermektedir. Kuru şartlarda buğday ve arpa ıslah parsellerinde verim tahmininde İHA kullanımı ile ilgili tavsiyede bulunabilmek için çalışmanın kardeşlenme, sapa kalkma ve çiçeklenme gibi farklı bitki gelişim dönemlerinde yapılarak karar verilmesinin daha doğru bir yaklaşım olduğu varsayılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tahıl ıslahı, mini insansız hava aracı, verim tahmini

Availability of Small Unmanned Aerial Vehicle for Yield Estimation in Cereal Breeding Nurseries

Abstract

To succeed of thousands of parcel breeding programs are depending on using high throughput phenotyping (HTP). Unmanned aerial vehicles (UAV) create an opportunity for high throughput phenotypic selection.

According to the research results, the relationships between NDVI values obtained by UAV and NDVI values obtained by ground measurements were found to be statistically significant ($P < 0.05$). It has been observed that 34% of the values obtained by terrestrial measurements can be explained by UAV NDVI values for wheat and 25% for barley. However, the coefficient of determination values were found insufficient to explaining these relationships. It is assumed that it is a more correct approach to make a decision in different plant development periods such as tillering, stem elongation and flowering in order to give advice on the use of UAV in the yield estimation of wheat and barley breeding plots under rainfed conditions.

Keywords: Cereal breeding, small unmanned aerial vehicle, yield estimation

Giriş

Dünya nüfusunun 2050 yılına kadar 9.6 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir. Artan bu dünya nüfusuna paralel olarak gıda tüketimi de artacaktır. Bu talepleri karşılayabilmek için birim alandan elde edilen ürün miktarında artış elde edilmesi kaçınılmaz bir zorunluluktur. Son yüzyılda bitki ıslahı ve agronomik uygulamalardaki gelişmelerle ürün verimlerinde artışlar sağlanmıştır ancak yeterli değildir (Pena-Barragan ve ark., 2012; White ve ark., 2012; Shi ve ark., 2016).

Tahıllarda tane verimi, vejetasyon periyodu içerisinde birbirini izleyen farklı fenolojik dönemler ile bu dönemlerdeki fizyolojik ve morfolojik faktörlerin karşılıklı etkileşimleri ve çok gen tarafından ifade ediliyor olması nedeni ile oldukça karmaşık bir ögedir. Tane veriminin; bitkinin çıkışından hasat olgunluğuna kadar bütün gelişme dönemlerinde etkili olan faktörlerin değişik oranlardaki katkılarıyla meydana geldiği düşünülürse, yüksek verimli genotiplerin ıslah edilebilmesi için, bu faktörlerin verimi nasıl ve ne ölçüde etkilediğinin bilinmesi gerekmektedir (Öztürk ve Akkaya, 1996). Genotip x çevre interaksiyonu genotiplerin verim sıralamalarının değişmesine yol açıyorsa, seleksiyonun etkinliği ve değişik bölgelere çeşit tavsiyesi bakımından ıslahçılar için çok önem ifade eder (Kara, 2000).

Kantitatif karakterlere ait ıslah programlarında fenotipik ve genotipik varyans komponentlerinin bilinmesi önemlidir (Balcı ve Turgut, 2006). Yıllık buğday üretimindeki artış %1'lerden bile az olmaktadır. Bu artışın iklim değişiklikleri ile daha da aşağılara ineceği tahmin edilmekle birlikte (Reynolds ve ark., 2012), küresel ısınmaya bağlı olarak meydana gelen sıcaklık artışlarının da buğday verimini %3-50 oranında düşürebileceği birçok araştırmacı tarafından bildirilmektedir (You ve ark., 2009; Crain, 2016). Global ölçekte ürün modelleme hesaplamalarında her 1 °C sıcaklık artışının tahıl üretiminde %6 verim düşüklüğüne sebep olacağı bildirilmektedir (Asseng ve ark., 2011). Hem artan dünya nüfusu hem de iklim değişikliği tehditlerine karşı gıda güvenliğini sağlamak için yeni metotların geliştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır. Islah çalışmalarının faydalılığını ortaya çıkarmak için verimli ve doğru fenotiplendirme gereklidir. Bitki ıslahı çalışmalarında yaşanan tıkanıklıkların en önemli nedenlerinden birisi de fenotiplendirmedir.

Doğal kaynaklarımız korunarak yeterli verim artışları sağlayabilmek için yüksek verimli fenotipleme ve hassas tarım uygulamaları gibi yeni metotlar uygulamaya konulmalıdır. Hassas tarım, bilgi teknolojilerini kullanarak farklı kaynaklardan elde edilen bilgilerin tarımsal üretimde kullanımına yönelik bir yönetim sistemidir (Torres-Sanchez, 2013). Hassas tarım uygulamalarında toprak ve bitkide meydana gelen anlık değişimler hakkında bilgiler toplanarak tohum, gübre ve sulama gibi girdilerin kullanım zamanı ve miktarı optimize edilmektedir. Hassas tarım tek bir meslek grubunun çabası ile gerçekleştirilebilecek bir konu olmayıp, disiplinler arası çalışmayı gerektiren bir alandır (Öğüt, 2012).

Hassas tarım uygulamaları üzerine yaklaşık 20 yıldır çalışmalar bulunmakla beraber algılama ve görüntü işleme alanında yaşanan son gelişmeler, bu alanda yüksek hassasiyette yapılacak çalışmaların önünü açmaktadır (Shi ve ark., 2016). Son yirmi yılda DNA dizilimi ve moleküler biyoloji alanındaki gelişmeler bitki genomları hakkındaki bilgilerimizi önemli ölçüde artırmıştır. Buna rağmen fenotipik seleksiyonda kullanılan mevcut metotlar hala yavaş, maliyetli, iş gücüne dayalı ve sıklıkla tahrip edici durumdadır (White ve ark., 2012; Araus ve Cairns, 2014; Haghghattalab ve ark., 2016). Bitki gözlemleri ile genotipik veriler ve fenotipik veriler arasında sıkı bir ilişki kurabilirse, çeşit performansları hakkında başarılı tahminler yapılabilir. Genom bilimi hızla gelişirken bitki fenotiplerini ölçüm oldukça yavaş ilerlemekte, bunun sonucu genomik ve fenomik bilgiler arasında dengesizlik oluşmaktadır. Yüksek verimli fenotipleme çalışmaları ile ilgili verilerin orantısızlığı hem genetik seleksiyon hem de gen haritalama çalışmalarının önünde engel teşkil etmektedir (White ve ark., 2012; Crain, 2016).

Genotip ile fenotip arasında bağlantı kurabilmek, bölgesel çevre şartlarına adapte olabilecek yüksek verimli çeşitlerin seçiminde başarıya ulaştıracaktır. Böylece bitkisel üretimde artış sağlanarak artan dünya nüfusunun gıda talepleri karşılanabilecektir. 2010 yılından itibaren hızlı ve yüksek verimli fenotipik seleksiyon metotları ıslah çalışmalarını geliştirici bir yaklaşım olarak tartışılmaktadır (Prashar ve Jones, 2014; Deery ve ark., 2014).

Bu teknikler arasında fotosentez (fotosentez verimi/redox verimi) hesabında florans algılama uygulamaları, biomas hesabında görüntüleme, su ve besin elementi stresi kaynaklı fizyolojik değişimleri yakın kızıl ötesi spektrometre ile belirleme, su stresini belirlemeye yönelik termal görüntüleme yer almaktadır (Sankaran ve ark., 2015). Genetik, çevre ve genetik x çevre interaksiyon faktörlerinin, verim potansiyeli ve biyotik-abiyotik stres şartlarına tolerans gibi kritik üretim özellikleri üzerine etkilerinin nihai belirleyicisi olduğu için sahada yapılan fenotipik seleksiyon genetik ıslaha dayalı ürün geliştirme çalışmalarında kritik bir unsurdur. Toprak karakteristikleri ve yağış, sıcaklık gibi hava olayları ile yabancı ot, hastalık ve zararlı varlığı bitki performansını ve yıl boyunca yapılan seleksiyon verimliliğini büyük ölçüde etkilemektedir.

Uzaktan algılama teknikleri, yetiştirme periyodu boyunca bitki büyüme ve gelişimini izleme ile tarla bazlı ürün yönetiminde başarı ile uygulanmaktadır. Son yıllarda yersel ve havasal yüksek verimli fenotipleme (HTP) platformları kullanımına artan bir ilgi olmaktadır. Yersel fenotipleme platformları modifiye edilmiş araçlar üzerine yerleştirilmiş yüksek çözünürlüklü sensörlerden oluşmaktadır. Ölçümler traktör veya insan eliyle yakın mesafelerden yapılmaktadır. Bitki sıra arası ve boyuna göre ayarlanabilen platformlar üzerine uzaktan algılama sensörleri yerleştirilerek fenotip belirleme yapılmaktadır. Ancak bu sistemlerde tüm parsellerde eşzamanlı görüntüleme imkânının olmaması, hareket ederken toprağı sıkıştırması, düzensiz arazi yüzeylerinden kaynaklanan vibrasyon gibi olumsuzluklar bulunmaktadır. Bu sınırlılıklar havasal fenotipleme platformları ile ortadan kaldırılabilir.

Mevcut durumda pilotlu hava araçları ve uydulardan elde edilen görüntülerin tarımsal uygulamalarında düşük çözünürlük (0.5-8 m), bulut örtülerinin kullanımlarını sınırlandırması ve yüksek maliyet gibi kısıtları bulunmaktadır. Bitki fenotipi yapısal, morfolojik, fizyolojik ve performansla ilgili özelliklerden oluşan bir settir. Bitki genomu ve çevresel (biyotik/abiyotik) interaksiyonların sonucu bitki fenotipi oluşmaktadır. Fenotiplemede bitki büyümesinin takibi, kanopi yapısı, fizyoloji, hastalık ve zararlılara karşı dayanıklılık ve verim gibi çok çeşitli bitki özelliklerinin ölçümü yapılmaktadır. Bu bağlamda görsel ve manuel ölçümlerden oluşan geleneksel metotlarla hızlı ve hassas HTP yapmak ulaşılabilir bir sonuç değildir. Bu bağlamda, binlerce parselden oluşan ıslah programlarının başarıya ulaşabilmesinde HTP kullanımı büyük oranda etkili olacaktır. Genetik farklılık gösteren bitkilerin tarla şartlarında hızlı bir şekilde belirlenmesinde ve fenotip farklılığın hangi genden kaynaklandığının tespitinde uzaktan algılama ile elde edilen bilgilerin kullanımı gereklidir (Haghighattalab ve ark., 2016).

Geçtiğimiz on yıl içinde hafif insansız hava araçlarının (İHA) gelişimi ürün izleme ve yönetiminde yeni çözümler sunmaktadır. İHA'lar hızlıca ve defalarca düşük maliyetlerle devreye alınabilmeleri, uçuş yükseklik ve zamanlarının kullanıcıya uygun ayarlanabilmeleri, yüksek çözünürlüklü görüntü alabilmeleri ve küçük ölçekli araştırmalarda kullanılabilmeleri gibi avantajlara sahiptirler. Küçük döner kanatları ile uzaktan bitki ve toprak özelliklerini belirleyebilme özellikleri, çiftçilerin gelecekte tarım alanlarını uzaktan algılama uygulamalarında İHA'ları kullanımlarında anahtar faktör teşkil etmektedir (Jannoura ve ark., 2015). Yüksek verimli fenotipleme (HTP) platformları genotip ile fenotip arası bağlantı kurma noktasında geniş popülasyonları değerlendirmede gerekli zamanı azaltarak anahtar rol oynamaktadırlar. Bitki performanslarını tahmin etmede HTP platformları milyonlarca bitkinin kantitatif özelliklerini belirleyebilmek için yeni çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır. İHA kullanımıyla oluşturulacak bilgi transferi ile HTP analizindeki bu zorlukların üstesinden gelinir. Farklı tarımsal ve çevresel uygulamalar için geliştirilen İHA'lar ile havasal fenotiplemede önemli gelişmeler yaşanmaktadır. İnsansız hava araçlarının tarımda uzaktan algılama ile bilgi toplamada kullanımı oldukça ümit vericidir (Xiang ve Tian, 2011). İHA'lar düşük maliyetli olmaları sebebi ile sık aralıklarla kullanma imkânlarının olması, ağırlıklarının hafif olması, düşük hızlarda ve alçak irtifada uçabilmeleri, yüksek

çözünürlükte bilgi toplama gibi avantajlarla sahiptirler. Bu avantajlar bireysel bitki özellikleri hakkında gözlem yapma imkânı sağlamaktadır. Aynı zamanda yersel gözlemler ile geleneksel uçak ve uydulardan elde edilen görüntülerde yaşanan olumsuzlukları giderebilme kapasiteleri bulunmaktadır (Xiang ve Tian, 2011; Pena-Barragan ve ark., 2012).

Buğday ıslah programlarında spektral yansımaya dayalı seleksiyon çalışmaları uzun zamandır kullanılmaktadır (Crain ve ark., 2016). Lopes ve Reynolds (2012) farklı tarihlerde normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) ölçümleri yaparak buğdayın yeşil kalma süresini hesap etmişlerdir. Yeşil kalma süresi ile aynı zamanda yaprak yaşlanma süresi uzunluğu ölçülmüştür. Bu sürenin uzunluğu verimlilikle doğru orantılıdır (Borrell ve ark., 2014). Aynı zamanda bu veriler sıcaklık stresine karşı dayanıklı çeşitleri seçmede kullanılmıştır (Lopes ve Reynolds, 2012; Crain ve ark., 2016).

Dijital görüntülerden vejetasyon indeks değeri hesap ederek tarım alanlarından bilgi toplama yaygın ve basit bir yoldur. Havasal fotoğraflar ile bitkilerin kantitatif özellikleri hakkında bilgi toplamada hem görünür band hem de yakın kızıl ötesi band kullanımı doğru bir yaklaşımdır. Havasal fotoğraflardan elde edilen vejetasyon indekslerinden bitkilerin biomas, yaprak alanı indeksi ve klorofil konsantrasyonu gibi değerleri hesap etmekte kullanılabilir (Gitelson ve ark., 2003; Swain ve Uz Zaman, 2012).

Normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) bitki örtüsü izlemede yaygın olarak kullanılmaktadır ve hesabında yakın kızıl ötesi ve kırmızı band yansıma değerleri kullanılır (Tucker, 1979). Bazı araştırmacılar sadece görünür band yansımaları ile çalışan RGB kameraları indeks değeri belirlemede kullanmışlardır (Pena-Barragan ve ark., 2012). Bununla beraber görünür band indeks değeri hesaplamaları yakın kızıl ötesi indeks değeri hesaplamaları kadar yaygın kullanılmamaktadır. Bunun sebebi yeşil ve kırmızı bantta bitki örtüsü ile toprak arasındaki farklılık yakın kızıl ötesi bandı ile kıyaslandığında oldukça küçük kalmaktadır (Hunt ve ark., 2005). Yakın kızıl ötesi (NIR) band, bitkilerin geometrik özellikleri, yaprak alanı indeksi gibi biyofiziksel parametreleri hakkında görünür banda göre daha çok bilgi vermektedir (Meffrod, 2014; Jannoura ve ark., 2015).

İnsan gözünün algılayabildiği spektrum (400-700 nm)'da yeşil bitki örtüsü %10-20 yansıma yaparken, yakın kızılötesi spektrum (700-950 nm)'da bu oran %50-80'lere çıkabilmektedir. Bu fark kırmızı dalga boyunda klorofilin kırmızı ışığı absorbe etmesinden dolayı daha da belirgin olmaktadır. Bu nedenle kırmızı (R) ve yakın kızıl ötesi (NIR) band görüntüleri alabilen multispektral kameraların yeşil bitki örtüsünü ayırt etmede kullanımı daha doğru bir yaklaşım olacaktır (Rabatel ve ark., 2014). Bu farklı dalga boylarında ışık yansımalarından elde edilen değerlerin matematiksel hesabı ile yapılmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılanlardan bir tanesi NDVI'dir ve $NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$ formülü ile hesap edilmektedir. NDVI değerleri teorik olarak +1 ve -1 arasında değişir. Yeşil bitki örtüsünün fazla olduğu alanlarda indeks değeri +1'e doğru yaklaşırken, bulutlar, su ve kar düşük (eksi) NDVI değerlerine sahiptir. Çıplak toprak ve kaya ise sifıra yakın NDVI değeri gösterir (Houlie ve ark., 2006; Kandemir, 2010; Usul, 2010; Yıldız ve ark., 2012). Bu indeks biomas, klorofil ve azot içeriği, hastalık, zararlı ve yabancı ot yoğunluğu ile kuraklık ve su stresi gibi değerlerin belirlenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır (Meffrod, 2014; Rasmussen ve ark., 2016).

Bitkilerden uzaktan algılama ile görüntü elde edilmesinde farklı tip görüntüleme sistemleri kullanılmaktadır. RGB, multispektral, hiperspektral, termal kameralar ve yakın kızıl ötesi görüntü alabilecek şekilde modifiye edilmiş dijital amatör kameralar bunlardan bazılarıdır. Maliyetlerinin düşük olması, küçük hacimli ve hafif, düşük güç tüketimleri ve binlerce görüntüyü depolayabilme gibi özellikleri sebebi ile modifiye edilmiş dijital amatör kameralar bunlar arasında en çok kullanılanıdır. Bu kameraların en büyük eksikliklerinden bir tanesi radyometrik kalibrasyon imkanının bulunmamasıdır.

Farklı disiplinlerde çalışan uzmanları bir araya getirerek yapılan çalışmalarla mevcut problemlere yenilikçi çözümler ortaya konulabilmektedir. İnsansız hava araçları ile yapılacak fenotipleme çalışmaları bunlara bir örnek teşkil etmektedir. Bu çalışmalar bitki ıslahçıları ve agronomistler için yeni metot geliştirmeye yönelik fırsatlar oluşturmaktadır. Uzaktan algılamada İHA'ların pozisyonu ve uçuş parametreleri önem arz etmektedir. Maksimum doğruluk için İHA'ların optimum uçuş parametreleri belirlenmelidir (Xiang ve Tian, 2011).

Özetle, mini insansız hava araçları yüksek verimli fenotipik seleksiyon için bir fırsat oluşturmaktadır. Böylece çeşit geliştirme ve ıslah çalışmalarında süper genotip özellikleri belirlemede yaşanan engeller ortadan kaldırılabilir (Sankaran ve ark., 2015).

Bu çalışmanın amacı, mini insansız hava aracının tahıl ıslah parsellerinde verim tahmininde kullanılabilirliğini GreenSeeker görüntüleri ile kıyaslayarak belirlemektir.

Materyal ve Metot

Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nde devam eden ıslah araştırmaları kapsamında kuruda ekmeclik buğday gözlem bahçesi (Çizelge 1) ile kuruda arpa gözlem bahçesinde (Çizelge 2) bulunan çeşit ve hatlar bitkisel materyal olarak kullanılmıştır.

Çizelge 1. Islah parsellerinde yer alan buğday çeşit ve hatları

Sıra No	Çeşit/Melez/Pedigri
1	Şehzade
2	YMH/TOB//MCD/3/LIRA'S/4/KONYA-2002
3	F12.71/COC//KAUZ/3/TOSUNBEY
4	BDK-E-46/TOSUNBEY
5	BDK-E-46/TOSUNBEY
6	RENESLİA/SAGITTARIA
7	RENESLİA/SAGITTARIA
8	HARMANKAYA99/NACIBEY
9	KATIA/6/NAPHAL/5/13449/4/SEL/14-53/3/LANCER/2/ATL66/CNN/7/BEZ4/4/LOV10/CD*2//CO//CO/3/SANTACATALINAKENYA2//4-11/8/TOSUNBEY
10	Kharkivs'ka 81/KONYA2002
11	ERYT1620.91 (OD120/YUBILEJNAYA75)//2*MV17/3/TOSUNBEY
12	Karahan-99

Çizelge 2. Islah parsellerinde yer alan arpa çeşit ve hatları

Sıra No	Çeşit/Melez/Pedigri
1	IMPACT/FEDOR
2	CUMHURİYET 50/Çatalhüyük 2001//AYDANHANIM
3	OBRUK 86//ALPHA/CUT-50/3/BÜLBÜL 89/YEA 207
4	ANTARES/KY63-1294//VİRİNGA'S/3/TARM/4/ZEYNELAĞA
5	ANTARES/KY63-1294//VİRİNGA'S/3/TODOR/4/AYDANHANIM
6	TARM-92/YEA4193-1
7	TARM-92/YEA4193-1
8	BKF/MAGNELONE1604//ALOUETTE/3/DICTO-MS/WA1094-67//OWB753265C-01H/OWB763182M/4/SONORA/5/13OABVD-51
9	BKF/MAGNELONE1604//ALOUETTE/3/DICTO-MS/WA1094-67//OWB753265C-01H/OWB763182M/4/GKOMECA//WKN5185/82/5/YEA4193-1
10	SCOTIA/WA1356-70//WA1245-68/BOYER/3/OZDEMİR05
11	SCOTIA/WA1356-70//WA1245-68/BOYER/3/OZDEMİR05
12	SCOTIA/WA1356-70//WA1245-68/BOYER/3/TARM-92/VICTORIA
13	SCOTIA/WA1356-70//WA1245-68/BOYER/3/TARM-92/VICTORIA
14	HAMİDİYE 85/ANADOLU 86//BDMA 4/YESEVİ-93
15	HAMİDİYE 85/ANADOLU 86/4/DEIR ALLA 106/LIGMEE 527//ASSALA/3/ORZA 96
16	PAMİR-9/3/BKF/MAGRELONE 1604//ALOVETTE

Denemeler Tesadüf Blokları Deneme Desenine göre 3 tekerrürlü olarak düzenlenmiştir. Parseller 7x1.2 m ebadında tertiplenmiştir. Parsel mibzeri ile ekim 15 Kasım 2018 tarihinde, 8 sıraya 550 tohum m⁻² olacak şekilde yapılmıştır. Ekim ile birlikte 7.8 kg da⁻¹ P₂O₅ ve 3 kg da⁻¹ N olacak şekilde (DAP %18-46) taban gübresi verilmiş, ilkbaharda sapa kalkma döneminden önce 11.4 kg/da N (Üre %46) üst gübre uygulanmıştır. Hasat 10 Temmuz 2019 tarihinde parsel kenarlarından 1'er metre atılarak yapılmıştır.

Denemelerde meydana gelebilecek yabancı ot ve zararlılar için sapa kalkma dönemi öncesi herbisit ve insektisit kullanılmıştır. Fizyolojik oluma gelen parsellerde bitkiler parsel biçerdöveri ile hasat ve harmanı yapılmıştır.

Araştırmada İncelenen Özellikler

Tane Verimi

Her parselden elden edilen tane ürünü 0.01 g hassas terazide tartılarak, kg da⁻¹ olarak hesap edilmiştir.

Görüntülerin İşlenmesi

Çalışma kapsamında İHA kameralarından elde edilen fotoğraflar Postflight Terra 3D veri işleme yazılımında işlenmiştir. Verilerin işlenmesi aşamasında önce araziden ölçülen kontrol noktalarına ait koordinat değerleri yazılıma girilmiştir. Daha sonra yazılımın otomatik nesne eşleştirme özelliği ile her bir fotoğrafta dengeleme yapılarak çalışma alanına ait ortofoto görüntüler üretilmiştir. Elde edilen ortofoto görüntüler ArcGIS 10 yazılımına aktarılmıştır. ArcGIS 10 yazılımında parsellere yönelik bir veri tabanı tasarımı yapılmıştır. RGB kamera görüntülerinden üretilen gerçek renkli ortofoto görüntü üzerinden çalışmada kullanılan tüm parseller sayısallaştırılmıştır. RGB ve NIR kameradan üretilen ortofoto kullanılarak çalışma alanına ait NDVI değerleri elde edilmiştir. Her bir parsel için NDVI değerleri, üretilen NDVI veri seti üzerinden hesaplanmıştır. Parsellerin NDVI değerleri, parsel sınırları içine düşen piksellerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır (Şekil 1 ve 2).

Çalışmada İHA görüntüleri RGB (Red (kırmızı), Green (yeşil), Blue (mavi)) kamera ile her iki saniyede bir fotoğraf çekilerek alınmıştır. Kameranın görüntülerinin netliği açısından İHA'nın seyir hızı nispeten düşük tutulmuştur. Böylece alınan toplam görüntü sayısı da artmıştır. Kamera tarafından alınan görüntüler Mission Planner adlı programda georeferanslandırılmıştır. Mission Planner programı açık kaynaklı otopilot projeleri için geliştirilmiş tam özellikli yer istasyon uygulamasıdır. Otonom hava araçlarının dinamik kontrollerinin gerçekleştirildiği konfigürasyon olarak tanımlanmaktadır. Görüntülerin georeferanslandırma işleminde geleneksel linear yöntem kullanılmıştır. Bununla birlikte görüntülerin georeferanslandırılmasında meydana gelen hatalar (dx, dy) genel olarak kullanılan CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi)'den ziyade otonom hava aracında kullanılan GPS (Küresel Konumlandırma Sistemi)'nin özelliklerine bağlıdır. Seçilen GPS'e göre bu hatalar 1 santimetreden 30 metreye kadar değişiklik gösterebilir. Bu çalışmada kullanılan GPS'in en yüksek hata değeri 3 metredir. Fakat tüm uçuş koşullarında hatanın sürekli olarak 30 santimetrenin altında kaldığı görülmüştür.

İHA tarafından alınan görüntülerin georeferanslandırılması WGS84 koordinat sisteminde gerçekleştirilmiştir. Yüksek presizyon ve uygulama kolaylığı sağlaması nedeniyle, haritacılık sektöründe yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanan GPS tekniğiyle elde edilen nokta koordinatları WGS84 sistemindedir. Bu koordinatların, ülke sisteminin dayalı olduğu ED50 koordinat sistemine dönüştürülmesi ülke sisteminden kaynaklanan yükseklik sorunu, dönüşüm hesabında birtakım varsayımlar yapmayı zorunlu kıldığı için bu çalışmada bu detaya girilmemiştir. Çünkü WGS84 koordinat sisteminde elde edilen

hassasiyet bu çalışma kapsamında yeterli görülmüştür. Ayrıca NetCad çizim programı tarafından WGS84 koordinat sisteminden ED50 koordinat sistemine dönüşüm mevcuttur. Bu çalışmada görüntü alan İHA, düşük irtifalarda, düşük seyir hızlarında nispeten küçük alanları tarama görevi yaptığı için georeferanslandırma için GNSS (Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi) alıcıları kontrol üniteleri tüm ölçülerini kayıt eden WGS84 koordinat sistemi kullanılması yeterli bulunmuştur.

NDVI Değerleri

27 Mayıs 2019 tarihinde kuruda arpa denemeleri Zadoks 65 (çiçeklenme ortası), kuruda buğday denemeleri Zadoks 60 (çiçeklenme başlangıcı) döneminde Green Seeker (NTech Industries, Inc; 740 South State Ukiah, CA 954852)-(Şekil 3), optik el sensörü ile parselden bir kez 80-120 cm yükseklikten öğle saatleri (12:00-13:00) arasında, algılayıcı bitki üzerine dik konumda tutularak yapılmıştır. Yersel ve mini insansız hava aracı (İHA) ile havasal görüntüler alınarak NDVI değerleri belirlenmiştir (Şekil 4 ve 5). İHA ile görüntü almadan önce optimum uçuş parametreleri (uçuş yüksekliği, hızı ve saati) belirlenmiştir. Daha sonra yersel ve havasal görüntülerden elde edilen NDVI değerleri korelasyon testi ile kıyaslanarak güvenilirlikleri belirlenmiştir.

Yersel ölçüm işleminde kullanılan Green Seeker (Ntech Handheld 505) spektrometre cihazı, spektral yansıma prensibine göre çalışmakta olup, bu değerleri değişik dalga boylarındaki yansımalar üzerinden hesaplanmaktadır (Peñuelas ve ark., 1993). Yersel ve havasal NDVI ölçümlerinde kullanılan eşitlik aşağıda gösterilmiştir.

$$NDVI = (RNIR - RRED) / (RNIR + RRED) = (R_{900} - R_{680}) / (R_{900} + R_{680})$$

NDVI: Normalize edilmiş fark bitki indeksi değeri,

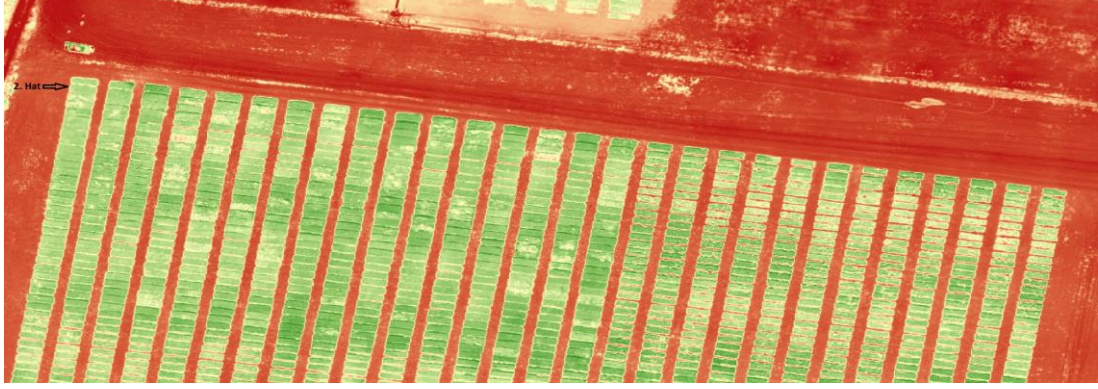
R (Reflectance): Bitkilerden elde edilen spektral yansımayı, altsimge rakamlar ise ışınların dalga boyunu (nm) göstermektedir.

Çalışma alanına ait hava fotoğraflarının elde edilmesi için tam otomatik (3DR Robotics PixHawk uBlox) uçuş yeteneğine sahip AGDR001 AgriDrone (Quadcopter) insansız hava aracı kullanılmıştır (Şekil 5). İnsansız hava aracı görünür bant (RGB) ve renk filtreli modifiye edilmiş NIR ve IR görüntü alabilen iki adet dijital kameraya sahiptir (Şekil 7). Titreşimleri minimize etmek için kameralar gimbal sistemi ile quadcoptere monte edilmiştir. 0-15 m s⁻¹ uçuş hızı, 0-100 m uçuş yüksekliği ile 25 dakika havada kalabilmekte ve 100 ha alandan görüntü alabilmektedir. Yersel referans noktaları ile haberleşebilmektedir. Altı kanal programlanabilir uzaktan kumanda sistemi 433-900 Mhz aralığında çalışabilmektedir (Şekil 8). CC lisanslı yazılımla orthophoto görüntü elde edilmiştir. Aynı zamanda elde edilen görüntülerden NDVI değerlerini doğrudan hesap eden yazılım bulunmaktadır.

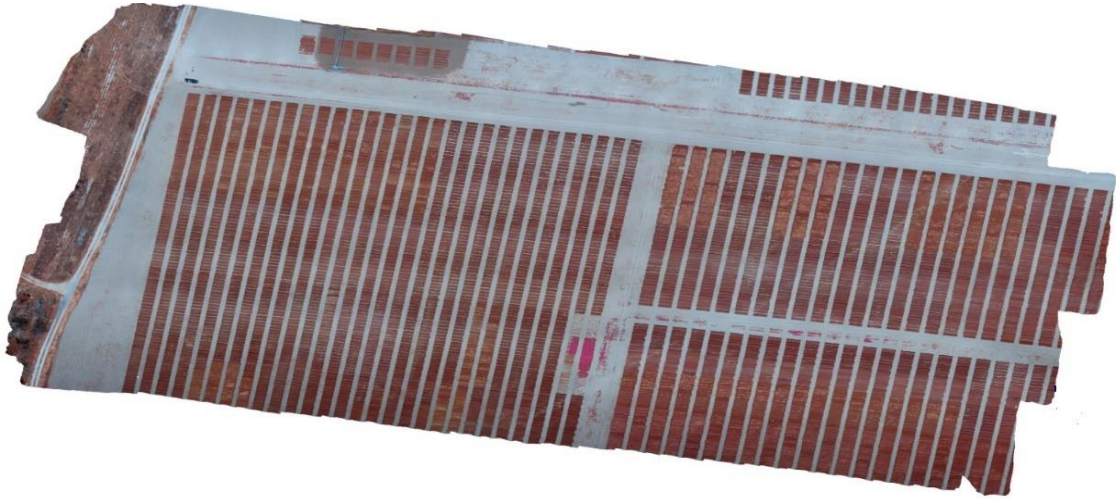
İHA ile elde edilen görüntülerin işlenmesi ve koordinatlandırılması için uçuş öncesi çalışma alanına kontrol noktaları yerleştirilmiştir (Şekil 4). Kontrol noktalarının koordinatları, WGS84 UTM Zone koordinat sisteminde TUSAGA-Aktif sistemine bağlı olarak epok ölçüm yapılarak belirlenmiştir.

Sonuçların Değerlendirilmesi

Denemede elde edilen NDVI değerlerinin birbirleri ile olan ilişkileri korelasyon analizi ile belirlenmiştir. Sonuçlar JMP 7.0 paket istatistik programı kullanılarak analiz edilmiştir (JMP, 2007).



Şekil 1. Araştırma alanı renklendirilmiş NDVI görüntüsü



Şekil 2. Araştırma alanı NIR görüntüsü



Şekil 3. GreenSeeker cihazı



Şekil 4. GreenSeeker cihazı ile veri eldesi



Şekil 5. İnsansız hava aracı



Şekil 6. İnsansız hava aracı uçuş planı



Şekil 7. Kamera



Şekil 8. İHA Haberleşme cihazı

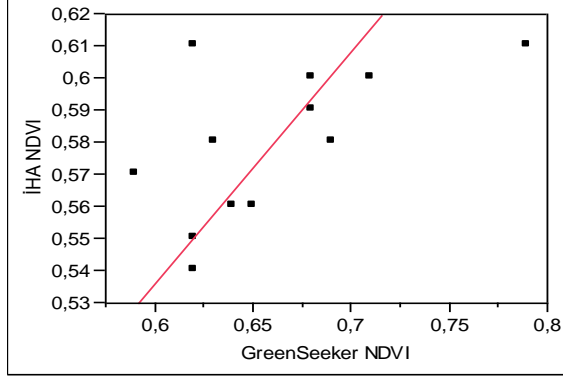
Araştırma Bulguları ve Tartışma

Buğday Islah Parselleri Bulguları

Çalışma kapsamında buğday ıslah parsellerinden GreenSeeker ile yersel ölçümlerle elde edilen NDVI değerleri ve İHA görüntülerinden üretilen NDVI değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Yersel ölçümlerden elde edilen NDVI değerleri ile İHA NDVI değerleri kıyaslandığında korelasyon katsayısının $r: 0.59$ olduğu ve iki değişken arasındaki bağıntının istatistikî olarak önemli ($P < 0.05$) olduğu belirlenmiştir (Şekil 9). Belirtme katsayısı ($r^2: 0.34$), yersel ölçümlerle elde edilen değerlerin %34'ünün İHA NDVI değerleri ile açıklanabileceğini göstermektedir.

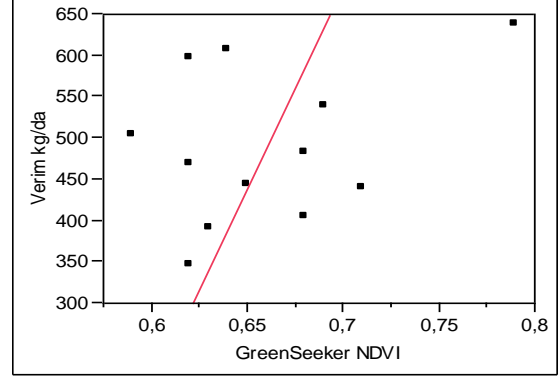
Çizelge 3. Buğday ıslah parselleri ölçüm değerleri

Parsel No	GreenSeeker NDVI	İHA NDVI	Verim (kg da ⁻¹)	Parsel No	GreenSeeker NDVI	İHA NDVI	Verim (kg da ⁻¹)
1	0.62	0.55	344.4	7	0.68	0.60	481.3
2	0.62	0.54	595.8	8	0.68	0.59	402.1
3	0.79	0.61	635.8	9	0.71	0.60	439.0
4	0.62	0.61	467.7	10	0.63	0.58	389.8
5	0.59	0.57	502.1	11	0.69	0.58	538.1
6	0.65	0.56	442.3	12	0.64	0.56	604.8



r: 0.59, intercept: 0.10, slope: 0.72, p: 0.03

Şekil 9. İHA ile GreenSeeker NDVI değerleri ilişkisi

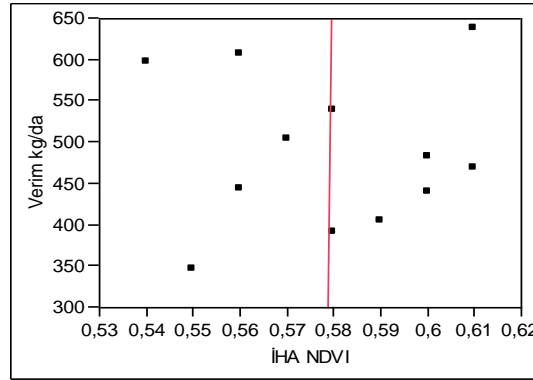


r: 0.34, intercept: -2767.19, slope: 4930.49, p: 0.27

Şekil 10. Verim ile GreenSeeker NDVI değerleri ilişkisi

GreenSeeker NDVI değerleri ile verim arasındaki ilişkiye bakıldığında ise korelasyon katsayısının r: 0.34 olduğu ve iki değişken arasındaki bağıntının istatistiki olarak önemli olmadığı belirlenmiştir (Şekil 10).

İHA NDVI değerleri ile verim arasındaki ilişkiye bakıldığında ise korelasyon katsayısının r: 0.01 olduğu ve iki değişken arasındaki bağıntının istatistiki olarak önemli olmadığı belirlenmiştir (Şekil 11).



r: 0.01, intercept: -194570, slope: 336789.4, p: 0.97

Şekil 11. Verim ile İHA NDVI değerleri ilişkisi

GreenSeeker ile İHA NDVI değerleri arasındaki ilişkinin istatistiki olarak önemli olmasına rağmen, buğday ıslah parsellerinde elde edilen verim değerleri ile hem GreenSeeker hem de İHA NDVI değerleri arasındaki bağıntı katsayılarının düşük ve ilişkilerin istatistiki olarak önemli olmadığı görülmüştür. Bunun sebebinin çalışmanın yapıldığı yılda yağışların oldukça düşük olmasından ve 27 Mayıs tarihinin buğday ıslah parsellerinde NDVI değerleri ölçümü için geç bir tarih olduğundan kaynaklandığı varsayılmaktadır.

Çekiç ve ark. (2008), sulu koşullarda Konya-2002 ve Bezostaja-1 buğday çeşitlerinin azotlu gübrelemeye verdikleri karşılıkları mevsim içi spektral yansıma okumalarından hesaplanan vejetasyon indeksleri ve mevsim içi verim tahmini yöntemiyle belirlemeye çalışmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre; Zadoks 24 (kardeşlenme), Zadoks 30 (sapa kalkma başlangıcı) ve Zadoks 31 (sapa kalkma 1 boğumlu dönem) olmak üzere 3 dönemde alınan NDVI indeks değerlerinden hesaplanan vejetasyon indeksine dayalı karşılık indeks değerlerinin, hasatta verim açısından elde olunan gerçek karşılık indeksleriyle aralarındaki

korelasyonun, Zadoks 30 ve 31 dönemlerinde yapılan okumaların verim değerleriyle daha yüksek korelasyon katsayıları verdiğini belirtmişlerdir. Araştırmacıların elde ettikleri bulgular ile bizim yürüttüğümüz çalışmada elde edilen bulguların örtüşmemesinin sebebinin Zadoks 60 döneminin buğday ıslah parsellerinde NDVI değerleri ölçümü için geç bir gelişim dönemi olduğundan kaynaklandığı varsayılmaktadır.

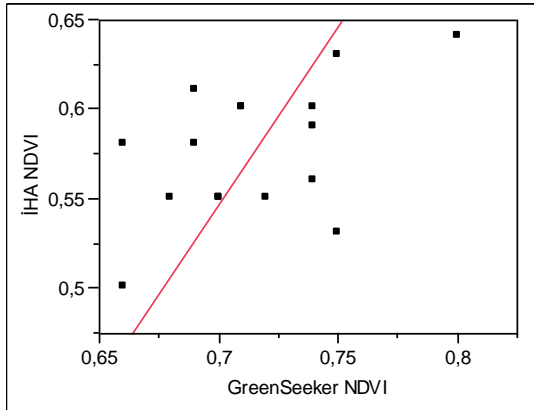
Arpa Islah Parselleri Bulguları

Çalışma kapsamında arpa ıslah parsellerinden GreenSeeker ile yersel ölçümlerle elde edilen NDVI değerleri ve İHA görüntülerinden üretilen NDVI değerleri Çizelge 4'te verilmiştir. Yersel ölçümlerden elde edilen NDVI değerleri ile İHA NDVI değerleri kıyaslandığında korelasyon katsayısının $r: 0.50$ olduğu ve iki değişken arasındaki bağıntının istatistiki olarak önemli ($P<0.05$) olduğu belirlenmiştir (Şekil 12). Belirtme katsayısı ($r^2: 0.25$), yersel ölçümlerle elde edilen değerlerin %25'inin İHA NDVI değerleri ile açıklanabileceğini göstermektedir.

Çizelge 4. Arpa ıslah parselleri ölçüm değerleri

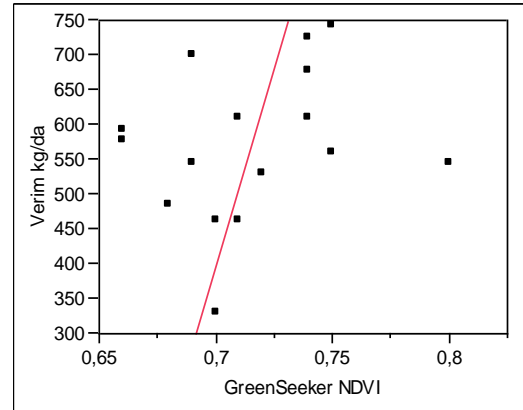
Parsel No	GreenSeeker NDVI	İHA NDVI	Verim (kg da ⁻¹)	Parsel No	GreenSeeker NDVI	İHA NDVI	Verim (kg da ⁻¹)
1	0.69	0.58	696.3	9	0.75	0.53	558.5
2	0.80	0.64	542.5	10	0.71	0.60	606.5
3	0.70	0.55	459.4	11	0.66	0.50	590.0
4	0.74	0.60	606.3	12	0.68	0.55	482.5
5	0.72	0.55	527.5	13	0.71	0.60	460.4
6	0.74	0.56	722.3	14	0.69	0.61	542.1
7	0.75	0.63	740.0	15	0.66	0.58	573.8
8	0.74	0.59	673.8	16	0.7	0.55	327.3

GreenSeeker NDVI değerleri ile verim arasındaki ilişkiye bakıldığında ise korelasyon katsayısının $r: 0.25$ olduğu ve iki değişken arasındaki bağıntının istatistiki olarak önemli olmadığı belirlenmiştir (Şekil 13).



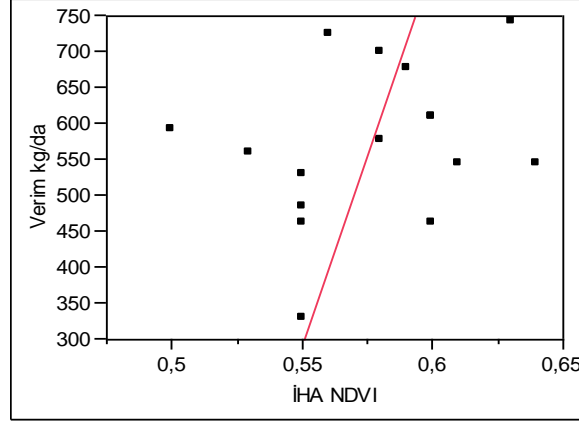
$r: 0.50$, intercept: -0.83857 , slope: 1.978774 , $p: 0.04$

Şekil 12. İHA ile GreenSeeker NDVI değerleri ilişkisi



$r: 0.25$, intercept: $-0.7681.12$, slope: 11539.09 , $p: 0.34$

Şekil 13. Verim ile GreenSeeker NDVI değerleri ilişkisi



r: 0.27, intercept: -5508.19, slope: 10546.67, p: 0.30

Şekil 14. Verim ile İHA NDVI değerleri ilişkisi

İHA NDVI değerleri ile verim arasındaki ilişkiye bakıldığında ise korelasyon katsayısının $r: 0.27$ olduğu ve iki değişken arasındaki bağıntının istatistiki olarak önemli olmadığı belirlenmiştir (Şekil 14).

Avdan ve ark. (2014) buğdayların sapa kalkma başlangıcı olan Zadoks 30 döneminde çalışma alanında yersel teknikler ve İHA ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Yersel ölçüm işlemi spektrometre ile 96 adet parselde ait NDVI değerleri ölçülmüştür. Yersel ölçümlerle elde edilen NDVI değerleri ile İHA görüntülerinden üretilen GNDVI değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma işlemi buğday çeşitlerine göre ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Yapılan karşılaştırma sonucunda yersel yöntemlerle elde edilen NDVI değeri ile İHA görüntülerinden üretilen GNDVI değerleri arasında yüksek bir tutarlılık olduğu görülmüştür. Savaslı ve ark. (2020) kışlık buğday üzerine yapmış oldukları çalışmada, Zadoks 30 gelişme döneminin biomass ve verim tahmini için en uygun dönem olduğunu belirtmişlerdir. Samborskia ve ark. (2016) kışlık buğday ıslah parsellerinde yapmış oldukları çalışmada Zadoks 31 gelişim döneminde elde edilen NDVI değerlerinin, Zadoks 65 döneminde elde edilenlere göre genotipler arasındaki farklılıkları belirleme açısından daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

NDVI değerlerinin yüksek klorofil içeriği veya çok gelişmiş biomas gibi durumlarda hassasiyetinin düşük olduğu tespit edilmiştir (Gitelson ve ark., 2003).

Uzaktan algılama tabanlı verilerin sınırlılıklarından biri, ortam ışığı koşullarındaki değişikliklerin spektral yansıma değerlerini etkilemesidir. Bu nedenle, aynı gün içinde farklı saatlerde, farklı günlerde veya bulutlu günlerde yapılan ölçümlerdeki gün ışığı değişimlerini eşitleyebilmek için referans kalibrasyon kullanarak ortam ışık koşullarını kalibre etmek çok önemlidir. İHA teknolojilerinden tam manasıyla yararlanabilmek için görüntü bulanıklığı ve geometrik hata düzeltmeleri, görüntü çakıştırma, coğrafi referanslama ve otomatik öznetelik çıkarma kabiliyetleri geliştirilmelidir (Karaşahin ve Samancı, 2018).

GreenSeeker ile İHA- NDVI değerleri arasındaki ilişkinin istatistiki olarak önemli olmasına rağmen arpa ıslah parsellerinde elde edilen verim değerleri ile hem GreenSeeker hem de İHA- NDVI değerleri arasındaki bağıntı katsayılarının düşük ve ilişkilerin istatistiki olarak önemli olmadığı görülmüştür. Bunun sebebinin çalışmanın yapıldığı yılda yağışların oldukça düşük olmasından ve 27 Mayıs tarihinin arpa ıslah parsellerinde NDVI değerleri ölçümü için geç bir gelişim dönemi (Zadoks 65) tarihi olduğundan kaynaklandığı varsayılmaktadır.

Sonuç ve Öneriler

Araştırma sonuçlarına göre İHA ile elde edilen NDVI değerleri ile yersel ölçümlerle elde edilen NDVI değerleri arasındaki ilişkilerin istatistiki olarak önemli olduğu tespit edilmiştir. Ancak elde edilen belirtme katsayısı değerleri, İHA ile elde edilen NDVI değerleri ile yersel ölçümlerle elde edilen NDVI değerleri arasındaki ilişkilerin açıklanmasında yetersiz kaldığını göstermektedir.

Kuru şartlarda buğday ve arpa ıslah parsellerinde verim tahmininde İHA kullanımı ile ilgili tavsiyede bulunabilmek için çalışmanın kardeşlenme, sapa kalkma ve çiçeklenme gibi farklı bitki gelişim dönemlerinde yapılarak karar verilmesinin daha doğru bir yaklaşım olduğu değerlendirilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (NEÜBAP) tarafından desteklenmiştir (Proje No: 171216002).

Kaynaklar

- Araus, J. L., Cairns, J. E. (2014). Field high-throughput phenotyping: the new crop breeding frontier. *Trends in Plant Science*, 19(1), 52-61. DOI: 10.1016/j.tplants.2013.09.008.
- Asseng, S., Foster, I., Turner, N. C. (2011). The impact of temperature variability on wheat yields. *Global Change Biology*, 17(2), 997-1012. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2010.02262.x.
- Avdan, U., Bilget, Ö., Çömert, R., Savaşlı, E., Önder, O. (2014). *İHA yardımı ile tarımsal alanlarda yeşil bant normalize edilmiş bitki indeksi hesaplanması*. 5. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu, 14-17 Ekim 2014, İstanbul.
- Balcı, A., Turgut, İ. (2006). On kendilenmiş atdışi mısır (*Zea mays indentata* Sturt.) hattının diallel melezlerinde bazı tarımsal ve kalite özelliklerinin kalıtımı. *Uludağ. Üniv. Zir. Fak. Derg.*, 20(1), 67-83.
- Borrell, A. K., Van Oosterom, E. J., Mullet, J. E., George-Jaeggli, B., Jordan, D. R., Klein, P. E., Hammer, G. L. (2014). Stay-green alleles individually enhance grain yield in sorghum under drought by modifying canopy development and water uptake patterns. *New Phytologist*, 203(3), 817-830. DOI: 10.1111/nph.12869.
- Crain, J. L. (2016). *Leveraging the genomics revolution with high-throughput phenotyping for crop improvement of abiotic stresses*. Doctor of Philosophy, Kansas State University, 144 p. Manhattan, Kansas. <http://hdl.handle.net/2097/32566>.
- Çekiç, C., Savaşlı, E., Önder, O., Dayıoğlu, R., Gökmen, F., Dursun, N., Gezgin, S., Kalaycı, M.H. (2008). *Bitkilerin azot kullanma etkinliğini artırmada mevsim içi azotlu gübre yönetiminin önemi*. 4. Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Kongresi. 8-10 Ekim 2008, 83-89, Konya.
- Deery, D., Jimenez-Berni, J., Jones, H., Sirault, X., Furbank, R. (2014). Proximal remote sensing buggies and potential applications for field-based phenotyping. *Agronomy* 4(3), 349-379. DOI: 10.3390/agronomy4030349.
- Gitelson, A. A., Vina, A., Arkebauer, A., Rundquist, T. J., Keydan, D. J. G., Leavitt, B. (2003). Remote estimation of leaf area index and green leaf biomass in maize canopies. *Geophysical Research Letters*, 30(5), 1248. DOI: 10.1029/2002GL016450.
- Haghighattalab, A., Gonzalez Perez, L., Mondali, S., Singh, D., Schinstock, D., Rutkoski, J., Ortiz-Monasterio, I., Singh, R. P., Goodin, D., Poland, J. (2016). Application of unmanned aerial systems for high throughput phenotyping of large wheat breeding nurseries. *Plant Methods*, 12: 1-15. DOI: 10.1186/s13007-016-0134-6.
- Houlie, N., Komorowski, J. C., De Michele, M., Kasereka, M., Ciraba, H. (2006). Early detection of eruptive dykes revealed by normalized difference vegetation index (NDVI) on Mt. Etna and Mt. Nyiragongo. *Earth and Planetary Science Letters* 246(3-4), 231-240. DOI: 10.1016/j.epsl.2006.03.039.
- Hunt, E. R., Cavigelli, M., Daughtry, C. S. T., McMurtrey, J. E., Walthall, C. L. (2005). Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status. *Precision Agriculture*, 6: 359-378. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-005-2324-5>.

- Jannoura, R., Brinkmann, K., Uteau, D., Bruns, C., Joergensen, R. G. (2015). Monitoring of crop biomass using true colour aerial photographs taken from a remote controlled hexacopter. *Biosystem Engineering*, 129: 341-351. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2014.11.007.
- Kandemir, E. (2010). *Uzaktan algılama tekniğinde NDVI değerleri ile doğal bitki örtüsü tür dağılımı arasındaki ilişkilerin belirlenmesi üzerine araştırmalar*. (Yüksek lisans tezi). Ege Ü. Fen Bil. Enst., Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, 78 s. İzmir.
- Kara, Ş. M. (2000). Bazı ekmeklik buğday genotiplerinde adaptasyon ve stabilite analizleri. *Turk J Agric For*, 24(3), 413-419.
- Karaşahin, M., Samancı, A. (2018). Mini insansız hava aracının tahıl ıslah parsellerinde fenotipik seleksiyonda kullanılabilirliği. *Selcuk J Agr Food Sci*, 32(3), 616-623.
- Lopes, M. S., Reynolds, M. P. (2012). Stay-green in spring wheat can be determined by spectral reflectance measurements (normalized difference vegetation index) independently from phenology. *J. Exp. Bot*. 63(10), 3789–3798. DOI: 10.1093/jxb/ers071.
- Mefford, B. S. (2014). *Assessing corn water stress using spectral reflectance*. Department of Civil and Environmental Engineering for the Degree of Master of Science, Colorado State University, 129. Fort Collins, Colorado.
- Öğüt, H. (2012). Tarımın ileri teknoloji ile buluşma noktası: Hassas tarım. *Türkiye Tohumcular Birliği Dergisi*, 38: 38-41.
- Öztürk, A., Akkaya, A. (1996). Kışlık buğdayda verim, verim öğeleri ve fenolojik dönemler arasındaki ilişkiler. *Atatürk Ü. Zir. Fak. Der.*, 27(3), 350-368.
- Pena-Barragan, J. M. (2012). *Object-based approach for crop row characterization in UAV images for site-specific weed management*. Proceedings of the 4th GEOBIA, May 7-9, 2012, 426-430, Rio de Janeiro-Brazil.
- Peñuelas, J., Filella, I., Biel, C., Serrano, L., Save, R. (1993). The reflectance at the 950–970 nm region as an indicator of plant water status. *International Journal of Remote Sensing*, 14(10), 1887-1905. DOI: 10.1080/01431169308954010.
- Prashar, A., Jones, H. G. (2014). Infra-red thermography as a high-throughput tool for field phenotyping. *Agronomy*, 4(3), 397–417. DOI: 10.3390/agronomy4030397.
- Rabatel, G., Gorretta, N., Labbe, S. (2014). Getting simultaneous red and near-infrared band data from a single digital camera for plant monitoring applications: Theoretical and practical study. *Biosystem Engineering*, 117: 2-14. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2013.06.008.
- Rasmussen, J., Ntakos, G., Nielsen, J., Svensgaard, J., Poulsen, R. N., Christensen, S. (2016). Are vegetation indices derived from consumer-grade cameras mounted on UAVs sufficiently reliable for assessing experimental plots? *Europ. J. Agronomy*, 74: 75-92. DOI: 10.1016/j.eja.2015.11.026.
- Reynolds, M., Foulkes, J., Furbank, R., Griffiths, S., King, J., Murchie, E., Parry, M., Slafer, G. (2012). Achieving yield gains in wheat. *Plant, Cell & Environment*, 35(10), 1799-1823. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2012.02588.x.
- Samborskia, S. M., Gozdowskib, D., Olga, S., David, W., Stępiena, M., Edward, S., Tadeusz, D. (2016). *Winter wheat genotype effect on canopy reflectance: implications for using ndvi for in-season nitrogen top dressing recommendations*. Proceedings of the 13th International Conference on Precision Agriculture July 31, 2016, St. Louis, Missouri, USA.
- Sankaran, S., Khot, L. R., Zuniga Espinoza, C., Jarolmasjed, S., Sathuvalli, V.R., Vandemark, G. J., Miklas, P. N., Carter, A. H., Pumphrey, M. O., Knowles, N. R., Pavek, M. J. (2015). Low-altitude, high-resolution aerial imaging systems for row and field crop phenotyping: A review. *Europ. J. Agronomy*, 70: 112-123. DOI: 10.1016/j.eja.2015.07.004.
- Savaslı, E., Önder, O., Çekici, Ö., Kalaycı, H. M., Dayioğlu, R., Karaduman, Y., Gökmen, F., Dursun, N., Gezgin, S. (2020). Sensor based calibration study for in-season nitrogen management of winter wheat in Turkey. *Asian J. Med. Biol. Res.*, 6(2), 204-211. DOI: 10.3329/ajmbr.v6i2.48051.
- Shi, Y., Thomasson, J. A., Murray, S. C., Pugh, N. A., Rooney, W. L., Shafian, S., Rajan, N., Rouze, G., Cristine, Morgan, C. L. S., Neely, H. L., Rana, A., Bagavathiannan, M. V., Henrickson, J., Bowden, E., Valasek, J., Olsenholler, J., Bishop, M. P., Sheridan, R., Putman, E. B., Popescu, S., Burks, T., Cope, D., Ibrahim, A., McCutchen, B. F., Baltensperger, D. D., Jr, R. V. A., Vidrine, M., Yang, C. (2016). Unmanned aerial vehicles for high-throughput phenotyping and agronomic research. *PLOS ONE*, 11(7), 1-26. DOI: 10.1371/journal.pone.0159781.

- Swain, K. C., Uz Zaman, Q. (2012). Rice crop monitoring with unmanned helicopter remote sensing images. *Remote Sensing of Biomass – Principles and Applications*, 253-272.
- Torres-Sanchez J., Lopez-Granados, F., De Castro A. I, Pena-Barragan, J. M. (2013). Configuration and specifications of an unmanned aerial vehicle UAV for early site specific weed management. *PLOS ONE*, 8(3), 1-15. DOI: 10.1371/journal.pone.0058210.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150. DOI: 10.1016/0034-4257(79)90013-0.
- Usul, M. (2010). *Arazi kalite parametrelerinin buğday ürün rekoltesi üzerine etkilerinin uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemi kullanılarak belirlenmesi, Altunova Tarım İşletmesi örneği*. (Doktora tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, 142 s. Ankara.
- White, J. W., Andrade-Sanchez, P., Gore, M. A., Bronson, K. F., Coffelt, T. A., Conley, M. M., Feldmann, K. A., French, A. N., Heun, J. T., Hunsaker, D. J., Jenks, M. A., Kimball, B. A., Roth, R. L., Strand, R. J., Thorp, K. R., Wall, G. W., Wang, G. (2012). Field-based phenomics for plant genetics research. *Field Crops Research* 133: 101-112. DOI: 10.1016/j.fcr.2012.04.003.
- Xiang, H., Tian, L. (2011). Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV). *Biosystem Engineering*, 108(2), 174-190. DOI: 0.1016/j.biosystemseng.2010.11.010.
- Yıldız, H., Mermer, A., Ünal, E., Akbaş, F. (2012). Türkiye bitki örtüsünün NDVI verileri ile zamansal ve mekansal analizi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 50-56.
- You, L., Rosegrant, M. W., Wood, S., Sun, D. (2009). Impact of growing season temperature on wheat productivity in China. *Agric. For. Meteorol.* 149(6-7), 1009–1014. DOI: 10.1016/j.agrformet.2008.12.004.