



Buğdayda Yapay Epidemide Sarı Pas Hastalığı İnoküle Edilen ve Edilmeyen Bitkilerin Ayrımında Çok Bantlı (Hiperspektral) Verilerin Kullanılma Olanaklarının Araştırılması

Investigation of the Possibilities of Using Hyperspectral Data to Differentiate Yellow Rust Disease Inoculated and Non-Inoculated Plants Under Artificial Epidemic in Wheat

Metin AYDOĞDU¹, Kadir AKAN²

¹Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü,
Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara, Türkiye
· metin.aydogdu@tarimorman.gov.tr · ORCID > 0000-0001-6920-1976

²Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü, Kırşehir, Türkiye
· kadir_akan@hotmail.com · ORCID > 0000-0002-1612-859X

Makale Bilgisi/Article Information

Makale Türü/Article Types: Araştırma Makalesi/Research Article

Geliş Tarihi/Received: 07 Ağustos/August 2023

Kabul Tarihi/Accepted: 17 Mayıs/May 2024

Yıl/Year: 2024 | **Cilt-Volume:** 39 | **Sayı-Issue:** 3 | **Sayfa/Pages:** 441-468

Atıf/Cite as: Aydoğdu, M., Akan, K. "Buğdayda Yapay Epidemide Sarı Pas Hastalığı İnoküle Edilen ve Edilmeyen Bitkilerin Ayrımında Çok Bantlı (Hiperspektral) Verilerin Kullanılma Olanaklarının Araştırılması"
Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 39(3), Ekim 2024: 441-468.

Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Metin AYDOĞDU

BUĞDAYDA YAPAY EPİDEMİ ALTINDA SARI PAS HASTALIĞI İNOKULE EDİLEN VE EDİLMİYEN BİTKİLERİN AYRIMINDA ÇOK BANTLI (HİPERSPEKTRAL) VERİLERİN KULLANILMA OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Sarı pas (*Etmien; Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) hastalığının erken dönemde kontrolü yaşanabilecek kayıpların en alt düzeye indirilmesinde kritik derecede önemlidir. Araştırmada hastalık inokule edilen ve inokule edilmeyen bazı ekmeklik ve makarnalık çeşitlerinde spektral yansıma değerleri hesaplanmış, elde edilen grafikler yorumlanarak hastalık stresinin değişen fenolojik dönemlerdeki farklı bant aralıklarındaki gelişimleri değerlendirilmiştir. Araştırma 2018-2019 yetiştirme sezonunda Bayraktar 2000, Demir 2000, Eser ve Kenanbey ekmeklik çeşitleri ile Çeşit-1252, Eminbey, Kızıltan 91 ve Mirzabey 2000 makarnalık çeşitleri kullanılarak yürütülmüştür. Materyal 33-35 cm sıra arası, 1 m uzunluğundaki sıraya 3 tekerrürlü olarak Ekim ayı içinde elle ekilmiştir. Hastalığın taze sporları uçucu mineral yağ içinde homojenize edilerek %0, %25, %50, %100 uygulama dozlarında test materyaline uygulanmıştır. Hastalığın reaksiyon değerlendirmeleri 25 Mayıs ile 06, 15 Haziran tarihlerinde yapılmış olup, enfeksiyon katsayıları hesaplanmıştır. Çalışma sonucu inokule edilmeyen grupla farklı uygulama dozu inokule edilen gruplar karşılaştırıldığında, spektral yansıma değerleri, aynı gelişme dönemi boyunca görünür bölgede artarken, Yakın Kızıl Ötesi bölgede azalma tespit edilmiştir. Hastalık inokule edilmeyen Ekmeklik ve makarnalık buğday çeşitlerinde çiçeklenmenin başlangıcı olan (25 Mayıs 2019) erken orta dönemde (10.5.1), görünür bölge bantlarında düşük yansıma değerleri tespit edilmiş olup, kırmızı (red) bölgeden itibaren yansıma değerlerinde bir artış gözlemlenmiştir. Dane bağlama dönemi olan (06 Haziran 2019) orta-geç dönemde (10.5.3), süt olum dönemi olan geç dönemde (10.5.4) Yakın Kızıl Ötesi bölgede ise yansıma değerlerinde bir azalma belirlenmiştir. Çalışma sonucunda buğdayda farklı fenolojik dönemlerde belirlenen yansıma değerleri incelendiğinde, sarı pas hastalığının teşhisinde erken-orta gelişme döneminde, görünür bölge bantlarının, orta-geç dönemde ise Yakın Kızıl Ötesi bölge bantlarının daha belirleyici olduğu görülmüştür. Çalışmanın farklı lokasyonlarda farklı hastalık dozlarında daha sık zaman aralıklarında tekrarlanması ve insanız hava araçlarına takılmış hyperspektral kameralarla doğrulanması faydalı olacaktır.

Ahahtar Kelimeler: Buğday, Sarı pas (*Puccinia striiformis* f. Sp. *tritici*), Çok Bantlı (Hiperspektral) Veri, Uzaktan Algılama.



INVESTIGATION OF THE POSSIBILITIES OF USING HYPERSPETRAL DATA TO DIFFERENTIATE YELLOW RUST DISEASE INOCULATED AND NON-INOCULATED PLANTS UNDER ARTIFICIAL EPIDEMIC IN WHEAT

ABSTRACT

Early control of yellow rust (causal agent; *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) is critically important in minimising the losses that may occur. In this study, spectral reflectance values were calculated in some bread and durum varieties inoculated and not inoculated with disease and the obtained graphs were interpreted and the development of disease stress in different band ranges in different phenological periods were evaluated. The research was conducted in 2018-2019 growing season using Bayraktar 2000, Demir 2000, Eser and Kenanbey bread varieties and Variety-1252, Eminbey, Kızıltan 91 and Mirzabey 2000 durum varieties. The material was sown by hand in 33-35 cm row spacing, 1 m long row in 3 replications in October. Fresh spores of the disease were homogenised in essential mineral oil and applied to the test material at 0%, 25%, 50%, 100% application doses. The reaction evaluations of the disease were made on 25 May and 06, 15 June and the infection coefficients were calculated. As a result of the study, spectral reflectance values increased in the visible region and decreased in the Near Infrared region during the same growth period when the non-inoculated group and the groups inoculated with different application doses were compared. In the early middle period (10.5.1), which is the beginning of flowering (25 May 2019) in bread and durum wheat varieties that were not inoculated with the disease, low reflection values were detected in the visible region bands, and an increase in reflection values was observed from the red region. A decrease in reflectance values was determined in the Near Infrared region in the middle-late period (10.5.3), which is the grain setting period (06 June 2019), and in the late period (10.5.4), which is the milking period. As a result of the study, when the reflectance values determined in different phenological periods in wheat were examined, it was seen that visible region bands were more determinative in the early-mid development period and Near Infra Red region bands were more determinative in the middle-late period in the diagnosis of yellow rust disease. It would be useful to repeat the study at different locations with different disease doses at more frequent time intervals and to verify it with hyperspectral cameras mounted on unmanned aerial vehicles..

Keywords: Wheat, Yellow Rust (*Puccinia striiformis* f. Sp. *tritici*), Hyperspectral Data, Remote Sensing.



1. GİRİŞ

Uzaktan algılama teknolojilerinin bitkisel üretim alanlarında farklı amaçlarla kullanımı her geçen gün artmakta olup, kritik düzeyde verilerin hızlı toplanması ve işlenmesi ulusal ve küresel düzeyde sürdürülebilir gıda güvenliğinin sağlanması için önemlidir. Uzaktan algılama teknikleri ve konularında son dönemde yaşanan gelişmeler bazı fitopatogenler tarafından oluşturulan bitki hastalıklarının yerinde belirlenmesinde, hiperspektral teknikler kullanılarak bitkiye herhangi bir zarar verilmeden teşhis imkanları sağlayabilmektedir (Lu ve ark., 2018). Hiperspektral analizler, zengin dar bant ve yüksek çözünürlük özellikleri nedeniyle bitkiler üzerinde hastalıkların neden olduğu biyofiziksel ve morfolojik değişimlerin ortaya konulabilmesinde önemli bir araçtır. Bu avantajları nedeniyle farklı gelişme dönemlerinde bitkilerde gözlenebilecek bazı hastalıkların erken teşhis edilebilmesinde ve erken dönemde kontrol edilmesi için karar alınmasında önemli bilgilerin elde edilmesi mümkün olabilmektedir (Zhang ve ark., 2012; Devadas ve ark., 2015). “Hiperspektral Uzaktan Algılama” teknikleri, farklı tipteki bazı abiyotik ve biyotik stres faktörlerinin bitkilerde neden olduğu fakat çıplak gözle belirlenemeyen biyofiziksel ve biyokimyasal değişikliklerin tespit edilmesinde kullanılabilir (Mahlein ve ark., 2013). Birçok basit ama etkili optik araç kullanılarak insan gözünün algılayabileceğinden çok daha geniş bir spektral bant aralığında nesne veya yapılar algılanabilmektedir (Hatfield 1993; Nicolas 2004; Moshou ve ark., 2005; Qin ve Zhang 2005). “Uzaktan Algılama” ve “Optik sensor” teknolojilerindeki son dönem de yaşanan gelişmeler, geniş alanlarda bazı bitkisel ürünlerin de vejetasyonun gelişimi, farklı stresleri varlığı, şiddeti ve yaygınlığının belirlenmesi ile aralarındaki ilişkileri önyargıdan ve olası kişisel değerlendirme yanlışlarının bir sonucu olarak oluşabilecek hataları ortadan kaldırarak veya en alt seviyeye indirerek, izlenen parametre veya parametreler hakkında sürekli kayıt altına alabilme ve depolama imkanı vermektedir. Optik sensor teknolojisi ve buna bağlı uzaktan algılama teknikleri bitki kanopisinin spektral yansıma karakteristikleri üzerine dayandırılmaktadır. Bu karakteristikler; bitkinin vejetatif dönemde beklenen gelişme (sağlığına), yaprağın pigment ve fotokimyasal kapsamı ile bunların ışık ile olan ilişkisine bağlıdır (Gitelson ve ark., 2001).

Bitki hastalıklarının öncelikle teşhis sonrasında ise hastalık şiddetinin belirlenmesi için hiperspektral uzaktan algılama verileri kullanılarak, buğdayın spektral yansıma özelliklerinin ortaya konulması, sarı pas hastalığının şiddetinin belirlenmesinde, hastalığın kontrolünün zamanında ve ekonomik olarak yapılması için önemlidir. Sağlıklı olarak değerlendirilen yeşil bitkilerin yeşil bant dışında visible (görünür) bölgede yüksek absorpsiyon (düşük reflektans) gösterdiği, Yakın Kızılötesi (Near Infrared Reflectance, NIR) bölgede düşük absorpsiyon yüksek reflektans gösterdiği bildirilmiştir (Nilsson ve ark., 1995).

Bitki hastalıklarının tespitinde, spektral verilerin etkin olarak kullanımı, uygulama amacına bağlıdır. Bant aralıklarına göre 400-700 nm bitkinin yaprak pigment kompozisyonu ve strüktürünü, 700-1100 nm ise su kapsamı hakkında bilgi verebilmektedir (Mahlein ve ark., 2013). Farklı araştırma grupları tarafından, bitki yaprağının sahip olduğu klorofil, antosiyanin ve su miktarını belirlemek için farklı dalga boylarından reflektans değerleri kullanılarak elde edilmiş farklı indeksler geliştirilmiştir (Penuelas ve ark., 1995; Gitelson, ve ark., 2002). Naidu ve ark. (2009) tarafından yürütülen bir çalışmada, bitki virüs hastalıkların teşhisinde yaprak reflektans değerlerini kullanmıştır. Hastalıkla enfekteli olan ve enfekteli olmayan yaprakların tespiti, vejetasyon indeksleri kullanılarak %70 doğrulukta belirlenebilmiştir. Moshou ve ark. (2004) tarafından yürütülen bir çalışmada ise, bitkilerde kanopi seviyesinde yapılan çalışmalarda spektral bölgede sarı pas hastalığının belirlenmesinde kullanılacak en hassas bantların 680, 725 ve 750 nm olduğunu rapor etmişlerdir. Buğdayda pas hastalıklarının tarla koşullarında belirlenmesi için kanopi ve yaprak seviyesinde olmak üzere farklı çalışmalar yürütülmüştür. Benzer şekilde Zhang ve ark. (2012) tarafından yürütülen bir çalışma sonucunda, bitkide sarı pas hastalığının belirlenmesinde, bazı spektral bant bölgelerindeki spektral şekiller ve spektral özellikler arasında korelasyonlar olduğunu ortaya koymuşlardır.

Bu çalışmanın amacı; bazı ekmeklik ve makarnalık çeşitler kullanılarak yapay epidemide şartlarında farklı sarı pas (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) hastalığı spor dozu uygulamalarının farklı fenolojik dönemlerde oluşan hastalık şiddeti gelişiminin spektral yansıma değerleri ile izlenmesi ve çalışma sonucunda hastalıklı inokule edilen ve edilmeyen bitki gruplarının karşılaştırılarak, farklı düzeylerde hastalık gözlenen test bitkilerin ayırımında kullanılacak spektral bölgelerin ve bant aralıklarının incelenmesidir.

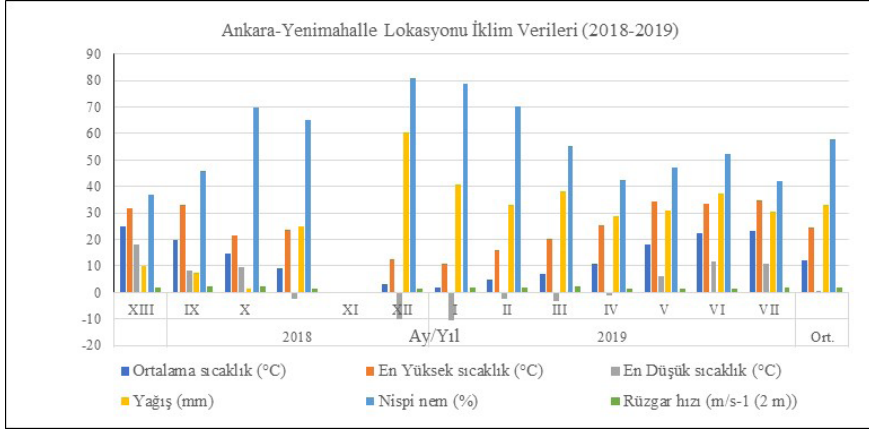
2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

2.1.1 Temel Araştırma Bilgileri ve Materyal

Araştırma, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü (TARM) Yenimahalle (Ankara) lokasyonu araştırma alanlarında 2018-2019 üretim sezonunda yürütülmüştür. Lokasyona ilişkin 2018-2019 yılının bazı aylarına ilişkin ortalama iklim verileri (OMNİ-Meteoroloji) Şekil 1 de verilmiştir (Anonim, 2019). Araştırma alanı toprak tekstürü, killi-tınlı olarak belirlenmiştir. Araştırmada kullanılan üretici ve tüketici ihtiyaçlarına uygun olarak farklı yıllarda, TARM Müdürlüğü tarafından tescil ettirilmiş 4 ekmeklik ve 4 makarnalık çeşidin yapay ve doğal epidemide şartlarında sarı pas hastalığına karşı olan reaksiyonları bilinmektedir (Çizelge 1). Araştırma materyaline ek olarak; hastalığının yayılması, değerlendirme zamanı-

nın belirlenmesi ve hastalık reaksiyon düzeylerinin kontrol edilmesi için amacıyla “Little Club” genotipi “hassas kontrol” olarak kullanılmıştır.



Şekil 1. 2018-2019 üretim sezonu Yenimahalle (Ankara) lokasyonunun da ölçülen bazı ortalama aylık iklim verileri

Figure 1. Some average monthly climate data measured at Yenimahalle (Ankara) location during the 2018-2019 growing season

Çizelge 1. Araştırma da kullanılan çeşitler tescil yılları ve hastalık reaksiyon grubu

Table 1. Varieties used in the research, registration years and disease reaction group

Ekmeklik Grup			Makarnalık Grup		
Çeşit Adı	Tescil Yılı	Hastalık Reaksiyonu	Çeşit Adı	Tescil Yılı	Hastalık Reaksiyonu
Eser	02.05.2003	Dayanıklı	Eminbey	06.04.2009	Dayanıklı
Bayraktar 2000	28.04.2000	Orta Hassas	Çeşit-1252	26.04.2000	Orta Hassas
Demir 2000	28.04.2000	Hassas	Kızıltan 91	26.04.1991	Orta Hassas
Kenanbey	06.04.2009	Hassas	Mirzabey 2000	28.04.2000	Orta Hassas

2.2 Yöntem

2.2.1 Materyalin Ekimi

Araştırmanın yürütülmesinde kullanılan ekmeklik ve makarnalık çeşitler ile hassas kontrol genotipi için dört farklı hastalık dozu uygulaması (%0, %25, %50,

%100) için tesadüfi blokları deneme desenine göre ekilmiştir. Hem ekmeçlik hem de makarnalık çeşitler için hastalık inokule edilmeyen 2 blok (negatif kontrol veya %0 dozu*ekmeçlik ve makarnalık grup) ve hastalık inokule edilen altı blok (%25, %50, %100*ekmeçlik ve makarnalık grup) olmak üzere toplam 8 bloktan oluşturulmuştur. Tüm materyale, hastalığın erken dönemde bulaşmanın engellenmesi için tekerrürler arası mesafe 50 cm., farklı hastalık dozu uygulama blokları arasındaki mesafe 75 cm. olacak şekilde planlanmıştır. Tüm test materyali 3 tekerrürlü olarak, 2018 yılı Ekim ayı içerisinde 33-35 cm sıra aralığı ve 1 metre sıra uzunluğu olacak şekilde 3 sıra olarak elle ekilmiştir.

2.2.2 Test Materyaline Hastalığın İnokülasyonu

Tarla (ergin) evresi çalışmaları için hastalık inokülasyonu “Ulusal Bitki Koruma Standartlarına” (Li ve ark., 1989) uygun olarak yürütülmüştür. Bitkinin sapa kalkma dönemi olarak değerlendirilen 06 Mayıs 2019 tarihinde (Bitki gelişme dönemi, Feekes skalası 6) birinci inokülasyon, 13 Mayıs 2019 tarihinde (çiçeklenme başlangıcı öncesi dönem Feekes skalası 10) ikinci inokülasyon uygulaması yapılmıştır. Hastalık inokülasyonu için hastalık enfeksiyonu için uygun olabilecek sıcaklık ve nem koşullarının sağlanabildiği güneşin batışına yakın bir zamanda yapılmıştır. İnokülasyon sırasında havanın rüzgarsız olmasına özellikle dikkat edilmiş olup, inokülasyon dozunun diğer tüm bloklara taşınması veya bulaşmasının engellenmesi için uygulama yapılan bloğun çevresi plastik taşınabilir bariyerlerle çevrelenerek spor taşınımı engellenmiştir. Hastalık inokülasyon uygulamaları için yeni toplanan etmenin ürediniosporları 3 mg/200 mL (%25), 6 mg/200 mL (%50), 12 mg/200 mL (%100) dozları için uçucu mineral yağ (Soltrol® 170) içerisinde homojenize edilerek ULV+® cihazı kullanılarak hastalık gözlemlerinin alınacağı 6 bloğa uygulanmıştır. Negatif Kontrol Grubu olan %0 grubuna aynı miktarda saf su uygulanmıştır.

2.2.3 Hastalık Reaksiyonların Değerlendirmesi ve Hiperspektral Gözlemlerin Alınması

Çalışmanın amacı, hastalık inokule edilmeyen ve hastalık inokule edilen gruplar arasında hastalık reaksiyonlarını en iyi korele edebilecek spektral yansıma değerlerini ve bu değerlerin ayrılmasında kullanılacak olan bant aralıklarının belirlenmesidir.

Bu amaca yönelik olarak; tüm test materyalinin yaprak düzeyinde ve kanopi seviyesinde sarı pas hastalığının şiddetinin hesaplanması için, sarı pas hastalığına özgü farklı renk değişimlerine göre belirlenen spektral reflektans değerlerindeki farklılıklar kullanılarak çoklu korelasyon (multi correlation) tekniği uygulanmıştır.

Hastalık gözlemleri 25 Mayıs 2019, 06 Haziran 2019, 15 Haziran 2019 tarihlerinde (7 günlük periyotlarla) hastalık inokule edilmeyen ve hastalık inokule edilen grupların farklı fenolojik dönemlere göre bitki fenolojisi ile ilgili tüm gözlemler, aynı gün içinde farklı fenolojik gelişme dönemleri için Feekes skalası kullanılarak alınmıştır (Large, 1954). Hastalık reaksiyonlarının değerlendirilmesi ve hiperspektral değerlendirmeleri eş zamanlı olarak yapılmıştır. Hastalık reaksiyonlarının değerlendirildiği hiperspektral gözlemlerin alındığı tarihler, fenolojik dönem ve Feekes skalası ile Zadoks skalaları Çizelge 2’ de verilmiştir (Fowler, 2018).

Çizelge 2. Gözlem tarihleri ile Feekes skalası ve Zadoks skalasına göre bitki evresi

Table 2. Plant stage according to Feekes scale and Zadoks scale with observation dates

Gelişme Dönem	Gözlem Tarihleri	Evre	Feekes Skalası	Zadoks Skalası
Erken	25 Nisan 2019	Başaklanma Sonu	10.5.0	59
	25 Mayıs 2019	Çiçeklenme Başlangıcı (Erken Dönem)	10.5.1	60
	06 Haziran 2019	Dane Bağlama (Erken-Orta Dönem)	10.5.3	69
Geç	15 Haziran 2019	Süt Olum Dönemi (Orta-Geç Dönem)	10.5.4	71

Her tekerrürde ve her hastalık uygulama dozundan 20 yaprak olacak şekilde (8 çeşit *5 yaprak) üç tekerrürde toplam 60 bayrak yaprağında hastalık reaksiyonu değerlendirilmiştir. Hiperspektral ölçümler üstten üçüncü yaprak tercih edilmekle birlikte, bu yaprağın ölçüm için uygun olamadığı durumlarda üstten ikinci yapraktan yapılmıştır.

2.2.4 Hastalık Reaksiyonlarının ve Hiperspektral Verilerin Değerlendirilmesi

Hastalığın reaksiyonlarının değerlendirmesi için “Modifiye Cobb” skalası kullanılmıştır. Bu skalaya göre; “Hastalığın şiddeti” (Hastalığın yaprak da kapladığı % alan) (Peterson vd., 1948) ve “hastalığın reaksiyon tipleri” (Reaksiyon tipleri; R:0,2; MR:0,4, MR-MS:0,6; MS:0,8; S: 1) (Roelfs vd., 1992) çarpımı ile Enfeksiyon Katsayısı (EK) hesaplanmıştır (Roelfs vd., 1992). EK reaksiyon birlikte değerlendirildiğinde 5 grup oluşturulmuştur (Akan, 2019). Bu reaksiyonları grupları EK= 0; Immun, EK ≤ 0,1-5; Dayanıklı, EK ≤ 5.1-20; Orta Dayanıklı, EK ≤ 20.1-40; Orta Hassas, EK ≤ 40.1-100; Hassas olarak değerlendirilmiş olup EK= 0-20; Dayanıklı grup, EK ≤ 20.1-100 hassas grup olarak değerlendirilmiştir.

Hastalık indeksinin (Hİ) hesaplanmasında Huang vd., (2007) tarafından bildirilen eşitlik 1. kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Hİ(\%) = \frac{\sum xf}{n \sum f} \times 100 \quad [1]$$

$Hİ(\%) =$ Hastalık İndeksi

$n =$ En yüksek hastalık şiddeti değeri

$f =$ Her hastalık şiddeti derecesindeki yaprakların sayısı

Bu hesaplama için ölçüm yapılan yaprakların dijital ve termal kamera kullanılarak elde edilen resimlerinden ArcGIS 10.5.1 Programı* içerisinde "Image Classification" görüntü sınıflama modülünde kontrolsüz sınıflandırma (Unsupervised Classification) uygulaması kullanılarak her bir çeşit için ortalama bir hastalık şiddeti (%HŞ) hesaplanmıştır.

Hastalık indeksi (Hİ %), hesaplanmasında, hastalığın yaprağın üst yüzeyinde kapladığı hastalıklı alanın toplam yaprak alanına bölünmesi ve enfeksiyon katsayısı (S:1, S-MS, MS-S: 0,9; MS: 0.8; MS-MR, MR-MS: 0.6; MR: 0.4; R: 0.2) (Roelfs vd., 1992) ile çarpılmasıyla eşitlik 2. elde edilmiştir. Enfeksiyon katsayıları (EK) hastalık şiddeti reaksiyonlarına göre (%HŞ) 5 grup içerisinde sınıflandırılmıştır (İmmun: 0 EK, Dayanıkl: 0.1-5.0, Orta dayanıklı: 5.0-20.0, Orta hassas: 20.1-40.0, Hassas: 41.0-100) (Akan 2019). Her değerlendirmede her çeşit için hastalıkla kaplı alan hastalık şiddetine göre 9 sınıfa ayrılmıştır (%0, %1, %10, %20, %30, %45, %60, %80 ve %100). Herhangi bir hastalık belirtisi gözlenmediği durumda yapılan hesaplanmalarda %0 değeri, yaprağın tamamen hastalıkla kaplı olduğunu ve en şiddetli hastalık sınıfında yapılan hesaplanmalarda %100 değeri ile ifade edilmiştir.

$$HŞ(\%) = Hİ(\%) \times EK \quad [2]$$

$HŞ(\%) =$ Hastalık Şiddeti

$EK =$ Enfeksiyon Katsayısı

2.2.5 Bitki Kanopi Seviyesi Spektral Yansıma Ölçümlerinin Alınması ve Değerlendirilmesi

Kanopi spektrometrik reflektans ölçümleri, portatif el spektrometresi ekipmanı kullanılarak bulutsuz ve güneş ışığının deneme alanına dik geldiği zaman dilimlerinde (11:00-15:00 saatleri arasında) yapılmıştır. Spektrometreye kullanılarak spektral reflektans ölçümleri, 330-1150 nm 'lik bant genişliğinde

3 nm'lik aralıklar ile yapılmıştır. Ölçümler, bitkinin kanopi yüzeyinden 25 cm.'lik yukarıdan ve toprak yüzeyine 25°'lik bir açı ile yapılmıştır. Yapılan ölçümler, eş zamanlı olarak kablo bağlantısı kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Ölçümler 3 farklı fenolojik dönemde yapılmış olup alınan spektral yansımaya ölçümlerinin (her bir çeşit için 3 adet yansımaya değeri) ortalaması alınarak hesaplamada kullanılmıştır.

Bütün fenolojik dönemler için regresyon ve korelasyon analizleri IBM SPSS Statistics (versiyon 24.0) paket programı kullanılarak temel istatistik ve varyans analizleri yapılmıştır (IBM SPSS Statistics 2016).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

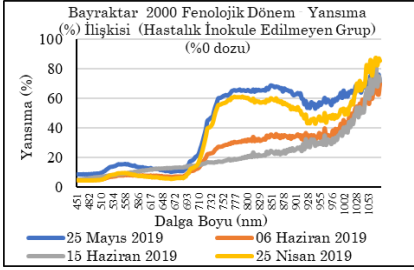
3.1 Farklı Hastalık Dozu Uygulamalarında Hastalık Şiddetinin Farklı Dalga Boylarındaki Yansımaya Değerleri ile İlişkileri

Bir yaprağın spektral-optik davranışı, yaprağın strüktürü ve içerisindeki mevcut pigmentlerin yapısına bağlıdır. Klorofil; bitkinin yeşil yaprakları içerisindeki mevcut dominant pigmenttir. Klorofil, elektromanyetik spektrum üzerindeki görünür (visible) bölgedeki mavi (blue) (450 nm) ve kırmızı (red) (680 nm) bölgelerdeki ışığın yaklaşık %70-90'lık kısmını absorbe eder. Yeşil ışık ne kadar az absorbe edilirse o kadar fazla yansıtılır (Nilsson, H.E., 1995a). İnsan gözü sadece canlı bitkinin rengi olarak yeşil ışığın baskın olduğu yansımalarını görür (Myers 1983; Lillesand ve Kiefer 1994; Campbell 1996).

Genel olarak yeşil vejetasyon döneminde yapılan yaprak yansımaya okuma değerlendirmeleri, elektromanyetik bölgenin görünür, Yakın kızılötesi (Near-infrared, NIR) ve kısa dalga boyuna sahip kızıl ötesi bölgelerde (Infrared veya IR), yaprak pigmentleri, hücre yapısı ve hücre su kapsamından etkilendiği bilinmektedir (Huang vd., 2007; Huang vd., 2012). Farklı spektral bant aralıklarındaki yansımaya değerlerini ifade etmek için, elektromanyetik spektrumun 331-1141 nm bant aralığı içerisinde yer alan görünür bölge bantları (331-700 nm) ve NIR bölge bantları (700-1141 nm) aralığı dikkate alınmıştır. Hastalık inokule edilmeyen grupların farklı fenolojik dönemleri için spektral yansımaya eğrileri incelendiğinde gelişmenin erken dönemlerinde bitkilerin klorofil absorpsiyonunda değişim olmadığı, görünür bölgede hastalık inokule edilmeyen gruplar da yansımaya değerlerinde bir azalma gözlenirken, kırmızı (Red) bölge bantlarından itibaren yansımaya değerlerinde artışın olduğu belirlenmiştir.

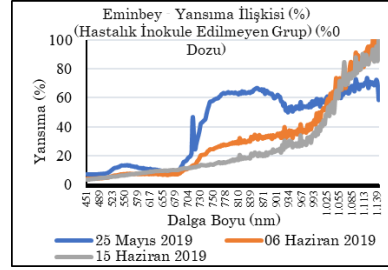
3.2 Farklı Fenolojik Dönemlerde Hastalık İnoküle Edilmeyen Gruplar İçin Spektral Yansımaya İlişkileri (%)

Hastalık inoküle edilmeyen gruplarda (negatif kontrol veya %0 dozu) yer alan ekmeklik buğday çeşitlerinden Eser, Bayraktar 2000, Kenanbey ve Demir 2000 çeşitlerinde çiçeklenmenin başlangıcı olan (25 Mayıs 2019, Feekes 10.5.1) erken dönemde, görünür bölge bantlarında düşük yansımaya değerleri ve kırmızı bölgeden itibaren yansımaya değerlerinde bir artış belirlenmiştir. Dane bağlama dönemi olan erken-orta dönemde (06 Haziran 2019, Feekes 10.5.3) ve süt olum dönemine rastlayan orta-geç dönemde (15 Haziran 2019, Feekes 10.5.4) ise NIR bölgede yansımaya değerlerinde bir azalmanın olduğu belirlenmiştir (Şekil 2). Makarnalık buğday çeşitlerinde de (Eminbey) çiçeklenme başlangıcı döneminde, görünür bölge bantlarında, düşük yansımaya değerleri belirlenirken, en yüksek yansımaya değerlerine Kırmızı bölgeden itibaren özellikle NIR bölgede tespit edilmiştir. Bitki gelişiminin ilerleyen süreçlerinde NIR bölge bantlarında yansımaya değerlerinde azalış eğilimi belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 2. Fenolojik Dönem-Yansımaya (%) İlişkisi (Bayraktar 2000 çeşidi hastalık inoküle edilmeyen grup)

Figure 2. Phenological Period-Reflection (%) Relationship (Bayraktar 2000 variety disease not inoculated group)



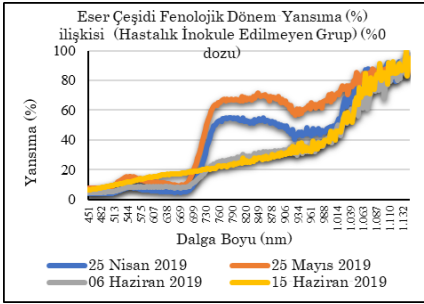
Şekil 3. Fenolojik Dönem-Yansımaya (%) İlişkisi (Eminbey çeşidi hastalık inoküle edilmeyen grup)

Figure 3. Phenological Period-Reflection (%) Relationship (Eminbey variety disease not inoculated group)

3.3. Ekmeklik Buğday Çeşitlerinde Hastalık Şiddeti (%HŞ) ve Spektral Yansımaya (%) İlişkileri

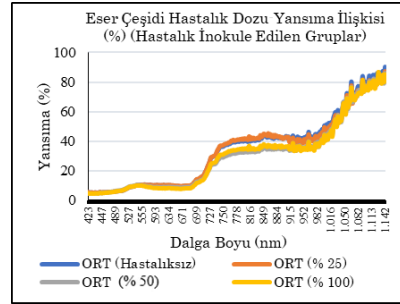
Hiperspektral uzaktan algılama verileri kullanılarak, buğday bitkisinin sarı pas hastalığı stresine bağlı olarak oluşan spektral tepkisi, hastalık reaksiyon seviyelerinin ayırt edilmesinde çok önemli olduğu değerlendirilmiştir. Araştırmada hastalık inoküle edilmeyen ve edilen test materyali bitkilerin üç farklı fenolojik dönemdeki yansımaya değerleri kayıt edilmiştir.

Eser çeşidi için; hastalık inokule edilmeyen grup da NIR bölgede kanopinin yeşil olduğu pigment konsantrasyonunun en yoğun olduğu çiçeklenme başlangıcı döneminde belirlenen yansıma değerleri, en yüksek seviyede (695-930 nm) olduğu saptanmıştır. Bu durumu sapa kalkma dönemi takip etmiş (695-950 nm) olup gelişmenin geç aşamalarında dane bağlama ve süt olum döneminde ise daha düşük yansıma değerlerinin varlığı belirlenmiştir (Şekil 4). NIR bölgede farklı hastalık dozlarına bağlı olarak hastalık inokule edilen edilmeyen gruplar arasındaki en yüksek yansıma değişimi %50 ve %100 hastalık dozu uygulamalarında tespit edilmiştir. Bu durum %50 ve %100 hastalık dozu uygulamalarının NIR bölgede (723-970 nm) hastalık şiddetinin artışında etkili olduğunu göstermektedir. Erken dönemde hastalık inokule edilen edilmeyen gruplar arasındaki yansıma değerleri birbirine yakın iken, gelişmenin ileri dönemlerinde farklılığın daha belirgin hale geldiği tespit edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 4. Fenolojik Dönem-Yansıma (%) İlişkisi (Eser çeşidi hastalık inokule edilmeyen grup)

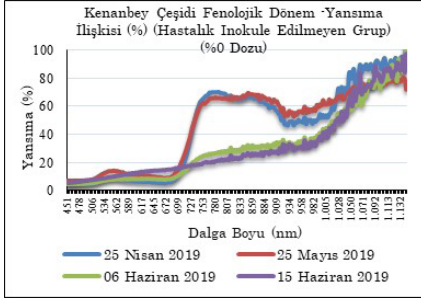
Figure 4. Phenological Period-Reflection (%) Relationship (Eser variety disease not inoculated group)



Şekil 5. Fenolojik Dönem-Yansıma (%) İlişkisi (Eser çeşidi hastalık inokule edilen gruplar)

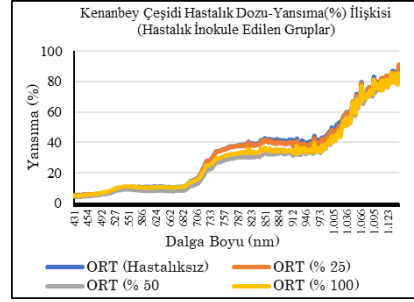
Figure 5. Phenological Period-Reflection (%) Relationship (Eser variety disease inoculated groups)

Kenanbey çeşidi için; hastalık inokule edilmeyen grupta yapılan değerlendirmeler sonucunda, yansıma değerlerinde en yüksek değişim, erken dönemleri içine alan NIR bölgede yer alan sapa kalkma döneminde ve yine aynı bölgede yer alan çiçeklenme başlangıcı döneminde, 716-930 nm bantlarında belirlenmiştir (Şekil 6). Hastalık inokule edilen edilmeyen grupların, farklı hastalık dozu uygulamalarına bağlı olarak yansıma değerleri incelendiğinde hastalık inokule edilmeyen ve %25 hastalık dozu uygulamasında 700-975 nm NIR bölgesi bant aralığında en yüksek yansıma değerleri belirlenmiştir (%36-%39). Aynı bant aralığında daha düşük yansıma değerleri saptanan %100 ve %50 hastalık dozu uygulamalarının takip ettiği değerlendirilmiştir (%18-%34) (Şekil 7).



Şekil 6. Fenolojik Dönem-Yansıma (%) İlişkisi (Kenanbey çeşidi hastalık inoküle edilmeyen grup)

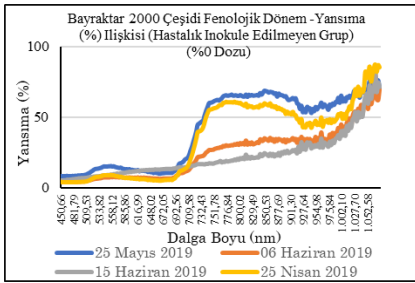
Figure 6. Phenological Period-Reflection (%) Relationship (Kenanbey variety disease not inoculated group)



Şekil 7. Hastalık Dozu-Yansıma (%) İlişkisi (Kenanbey çeşidi hastalık inoküle edilen gruplar)

Figure 7. Phenological Period-Reflection (%) Relationship (Kenanbey variety disease inoculated groups)

Bayraktar 2000 çeşidi için; hastalık inoküle edilmeyen grupta en yüksek yansıma değerlerine erken dönemleri içeren çiçeklenme başlangıcı döneminde NIR bölgede yer alan Kırmızı+Kırmızı Sınır (Red+ Red Edge) bantlarında (682-921 nm) izlenmiş olup, bu durumu sapa kalkma döneminin takip ettiği belirlenmiştir (Şekil 8). Hastalık inoküle edilen edilmeyen gruplar karşılaştırılmalı olarak değerlendirildiğinde en yüksek yansıma değerleri (%18-%36), hastalık inoküle edilmeyen (%0) ve %25, %100 hastalık dozu uygulamalarında NIR bant aralığında (709-930 nm) olduğu tespit edilmiştir. Aynı bant aralığında daha düşük yansıma değerini %50 hastalık dozu uygulaması takip ettiği değerlendirilmiştir (%17-%33) (Şekil 9).



Şekil 8. Fenolojik Dönem-Yansıma (%) İlişkisi (Bayraktar 2000 çeşidinde hastalık inoküle edilmeyen grup)

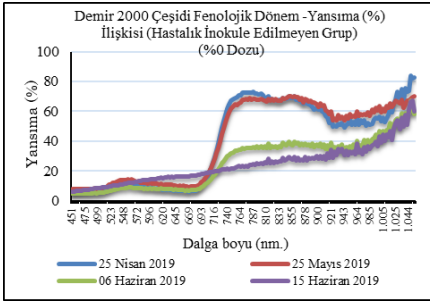
Figure 8. Phenological Period-Reflection (%) Relationship (Bayraktar 2000 variety disease not inoculated group)



Şekil 9. Fenolojik Dönem-Yansıma (%) İlişkisi (Bayraktar 2000 çeşidi hastalık inoküle edilen gruplar)

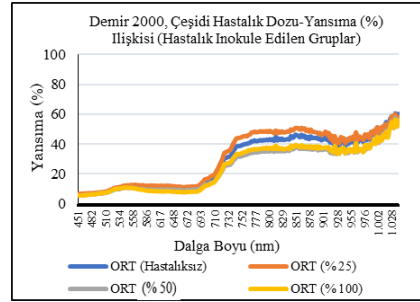
Figure 9. Phenological Period-Reflection (%) Relationship (Bayraktar 2000 variety disease inoculated groups)

Demir 2000 çeşidi için; değerlendirme yapılan fenolojik dönemlerde hastalık inoküle edilmeyen grupta en yüksek yansımaya değerlerine erken dönemleri de içine alan sapa kalkma döneminde NIR bölgede yer alan Kırmızı+Kırmızı Sınır bantlarında belirlenmiştir (685-942 nm). Bu durumu çiçeklenme başlangıcı dönemi, erken-orta dönem ve orta-geç dönem takip ettiği değerlendirilmiştir (Şekil 10). Hastalık inoküle edilen edilmeyen gruplar birlikte değerlendirildiğinde; farklı hastalık dozu uygulamalarında en yüksek yansımaya değerleri (%19-%38), %25 hastalık dozu uygulamasında NIR bölgesi bant aralığında (704-940 nm) saptanmıştır. Aynı bant aralığında daha düşük yansımaya değerlerini hastalık inoküle edilmeyen (%0) ve %100 ile %50 hastalık dozu uygulamalarının takip ettiği belirlenmiştir (%12-%34) (Şekil 11).



Şekil 10. Fenolojik Dönem-Yansımaya (%) İlişkisi (Demir 2000 çeşidinde hastalık inoküle edilmeyen grup)

Figure 10. Phenological Period-Reflection (%) Relationship (Demir 2000 variety disease not inoculated group)



Şekil 11. Fenolojik Dönem-Yansımaya (%) İlişkisi (Demir 2000 çeşidi hastalık inoküle edilen gruplar)

Figure 11. Phenological Period-Reflection (%) Relationship (Demir 2000 variety disease inoculated groups)

Ekmeklik buğday çeşitlerinde farklı sarı pas hastalığı doz uygulamalarında spektral bant aralıklarına karşılık gelen yansımaya değerleri (%) olarak Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Ekmeklik buğday çeşitlerinde spektral bant bölgelerine göre farklı hastalık dozlarına karşılık gelen yansıma değerleri (%)

Table 3. Reflection values corresponding to different disease doses according to spectral band regions in bread wheat varieties (%)

Çeşitler	Hastalık Dozları	% Yansıma Değeri Bant Aralıkları					
		Mavi 335-510	Yeşil 510-600	Kırmızı 600-700	Kırmızı Sınır 700-750 nm	NIR 750-1100 nm	NIR Fark
Bayraktar 2000	%0	27.39-7.49	7.49-10.49	10.49-14.05	14.05-34.96	34.96-78.30	43.34
	%25	26.50-7.35	7.35-10.60	10.60-14.23	14.23-34.72	34.72-75.39	40.67
	%50	21.87-7.88	7.88-9.50	9.50-12.73	12.73-28.40	28.40-76.61	48.21
	%100	24.15-10.25	10.25-11.61	11.61-15.34	15.34-35.23	35.23-77.83	42.60
Demir 2000	%0	28.15-8.11	8.11-11.45	11.45-15.38	15.38-39.02	39.02-77.95	38.93
	%25	29.14-8.93	8.93-12.41	12.41-16.83	16.83-44.60	44.60-75.22	30.62
	%50	21.61-8.11	8.11-9.53	9.53-13.11	13.11-31.70	31.70-76.45	44.75
	%100	22.22-7.97	7.97-8.64	8.64-12.24	12.24-33.65	33.65-75.85	42.20
Eser	%0	27.26-7.27	7.27-10.35	10.35-14.29	14.29-36.54	36.54-78.96	42.42
	%25	25.77-7.25	7.25-10.39	10.39-14.41	14.41-37.33	37.33-74.87	37.54
	%50	21.96-8.02	8.02-9.15	9.15-12.79	12.79-29.14	29.14-75.83	46.69
	%100	20.81-7.19	7.19-8.20	8.20-11.80	11.80-30.98	30.98-74.60	43.62
Kenanbey	%0	27.13-7.47	7.47-10.86	10.86-14.58	14.58-34.44	34.44-75.61	41.17
	%25	25.13-7.57	7.57-10.19	10.19-13.99	13.99-34.16	34.16-74.52	40.36
	%50	20.99-6.87	6.87-8.26	8.26-11.41	11.41-27.00	27.00-76.04	49.04
	%100	21.92-8.39	8.39-10.53	10.53-14.26	14.26-29.81	29.81-76.51	46.70

Ekmeklik grup birlikte değerlendirildiğinde; farklı hastalık dozu uygulamaları altında farklı bant bölgelerine göre değişen yansıma değerleri elde edilmiştir. Hastalıklı ve hastaliksız bitkilerin ayırımında kullanılacak bant aralıklarının belirlenmesinde belirleyici esas unsur, Yakın Kızıl Ötesi (NIR) bölgedeki minimum ve maksimum yansıma değerleri arasındaki farkın büyüklüğü olmuştur. Bu fark ne kadar büyük ise hastalığın şiddeti o kadar fazla, ne kadar küçük ise o kadar az olmaktadır.

Ekmeklik çeşitler üzerinden yapılacak genel bir değerlendirmede; NIR bölgesi incelendiğinde hastalık inokule edilmeyen grup ile farklı hastalık dozu uygulamaları arasındaki en yüksek yansıma değeri (%34.96-%78.30) Bayraktar 2000 çeşidinde belirlenmiştir. Bunu sırasıyla, Eser (%36.54-%78.96), Kenanbey (%34.44-

%75.61) ve Demir 2000 çeşitleri takip etmiştir. Ekmeklik çeşitlerde, %25 hastalık dozu uygulamasında en fazla fark (%40.67) Bayraktar 2000 çeşidinde tespit edilmiş olup, en az fark (%30.62) ise Demir 2000 çeşidinde belirlenmiştir.

Eser çeşidinde farklı hastalık dozu uygulamaların da en fazla değişim 729-1022 nm bant aralığında %24.66-%49.24 arasında gerçekleştiği belirlenmiştir. En fazla hastalık şiddeti değişiminin %50 hastalık dozunda gerçekleştiği, buna karşın %100 ve %25 hastalık dozlarında ise hastalık şiddetinde önemli bir değişim olmadığı değerlendirilmiştir.

Kenanbey çeşidinde farklı hastalık dozu uygulamalarında yansıma değerlerinde en fazla değişim 723-1010 nm bant aralığında %21.48-%45.34 arasında gerçekleştiği belirlenmiştir. Hastalık inokule edilmeyen grup ile hastalık inokule edilen gruplar karşılaştırıldığında, en yüksek hastalık şiddeti değişimi %50 hastalık dozu uygulamasında gerçekleştiği belirlenmiştir. Bununla birlikte %100 ve %25 hastalık dozlarında önemli bir değişim olmadığı değerlendirilmiştir.

Bayraktar 2000 çeşidinde farklı hastalık dozu uygulamalarında en fazla değişim 689-984 nm bant aralığında %50 hastalık dozu uygulamasında %12.63-%38.74 yansıma değerleri aralığında gerçekleştiği belirlenmiştir. Bunu sırasıyla %100 hastalık dozu ve %25 hastalık dozu uygulamalarının takip ettiği değerlendirilmiştir.

Demir 2000 çeşidinde farklı hastalık dozu uygulamalarında en fazla değişim 729-1033 nm bant aralığında %26.76-%60.04 yansıma değerleri aralığında gerçekleştiği belirlenmiştir. Hastalık inokule edilmeyen grup ile hastalık inokule edilen gruplar karşılaştırıldığında, en fazla hastalık şiddeti değişimi %50 hastalık dozunda gerçekleştiği, %100 ve %25 hastalık dozlarında ise önemli bir değişim olmadığı değerlendirilmiştir.

Hastalık inokule edilmeyen gruplarda yer alan bitkilerin farklı fenolojik dönemlerinde elektromanyetik spektrum üzerinde bant bölgelerine göre farklı yansıma değerleri belirlenmiştir (Çizelge 4). Bu farklı yansıma değerleri hastalık inokule edilen yada edilmeyen grupta hangi fenolojik dönemlerin daha etkin olarak kullanılabileceğinin bir ölçüsü olarak yorumlanmıştır. Özellikle NIR bölgesindeki yansıma değerleri arasındaki belirlenen farklılıklar, hastalık inokule edilen ve edilmeyen grupta hangi bantların öncelikli olarak kullanılacağı yönünde karar verilebilmesinde önemli olduğu düşünülmektedir. Hastalık inokule edilmeyen test materyalinde bu farklılık, bütün ekmeklik çeşitlerde özellikle erken dönemde çok daha az, orta-geç dönemde ise en yüksek düzeydedir.

Çizelge 4. Hastalık inoküle edilmeyen (%0) ekmeçlik çeşitlerde bant bölgelerine göre fenolojik dönemler için hesaplanan spektral yansıma değerleri ve aralıkları

Table 4. Spectral reflectance values and ranges calculated for phenological periods according to band regions in bread varieties not inoculated (0%) with disease

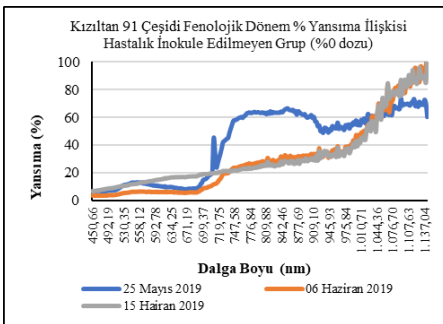
Çeşitler	Fenolojik Dönem	% Yansıma Değeri Bant Aralıkları					
		Mavi 335-510 nm	Yeşil 510-600 nm	Kırmızı 600-700 nm	Kırmızı Sınır 700-750 nm	NIR 750-1100 nm	NIR Fark
Bayraktar 2000	10.5.1	37.39-9.84	9.84-11.89	11.89-17.24	17.24-60.87	60.87-78.23	17.36
	10.5.3	19.71-4.91	4.91-7.85	7.85-10.43	10.43-27.09	27.09-81.14	54.05
	10.5.4	19.74-7.04	7.04-11.23	11.23-14.21	14.21-17.03	17.03-81.15	64.12
Demir 2000	10.5.1	8.03-8.92	8.92-12.14	12.14-15.95	15.95-63.37	63.37-73.11	9.74
	10.5.3	4.71-5.84	5.84-8.19	8.19-11.26	11.26-32.22	32.22-73.10	40.88
	10.5.4	6.30-8.92	8.92-14.78	14.78-18.14	18.14-21.48	21.48-81.78	60.30
Eser	10.5.1	7.15-8.96	8.96-10.98	10.98-16.99	16.99-64.35	64.35-78.96	14.61
	10.5.3	5.19-5.84	5.84-8.73	8.73-11.63	11.63-28.19	28.19-72.68	44.49
	10.5.4	4.90-6.93	6.93-10.98	10.98-14.28	14.28-17.08	17.08-85.13	68.05
Kenanbey	10.5.1	37.33-8.28	8.28-12.73	12.73-15.64	15.64-61.39	61.39-77.24	15.85
	10.5.3	19.92-5.78	5.78-7.98	7.98-10.98	10.98-23.55	23.55-77.17	53.62
	10.5.4	19.37-7.48	7.48-12.56	12.56-15.74	15.74-18.39	18.39-77.24	58.85

Yaprak pigmentleri, yaprakların yansıma karakteristiklerini ve ışık absorpsiyonunu önemli düzeyde etkileyen karotinoidler ve antosiyaninler içerir. Yaprak gelişimi sürecinde klorofil miktarı zamanla azalır, karotinoidlerin miktarı artar ve yaprak sararır. Bu durumda görünür bölgede (500 nm) yansıma değerinde keskin bir artış gözlenmesi beklenir. Bu artış görünür bölgenin yeşil ve kırmızı bantları boyunca devam eder. Yakın Kızıl Ötesi (NIR) dalga boylarında sarı yapraklar, yeşil yapraklara göre daha düşük yansıma göstermektedir (Myers 1983; Lillesand 1994; Campbell 1996).

3.4 Makarnalık Buğday Çeşitlerinde Hastalık Şiddeti (%HŞ) ve Spektral Yansıma (%) İlişkileri

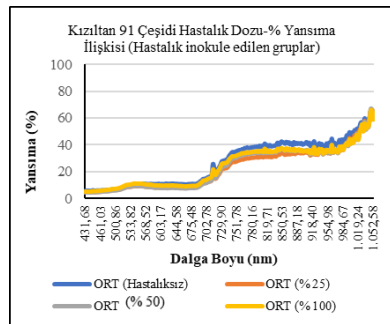
Kızıltan 91 çeşidi için; Hastalık inoküle edilen grupta spektral yansıma değerleri, aynı fenolojik dönem süresince görünür bölgede artarken, NIR bölgesinde azalmıştır (Şekil 12). Erken dönemde hastalık inoküle edilen ve edilmeyen bitkiler arasındaki yansıma farklılıkları daha sınırlı düzeyde değerlendirilmiş olmak-

la birlikte, gelişmenin ilerleyen dönemlerinde bu farklılık daha da belirgin hale gelmiştir. Gelişmenin ileri aşamalarında ekimden sonraki geçen günler itibarıyla (185., 197. ve 206. günler) hastalık inokule edilmeyen grupta, görünür bölgede 550-700 nm bant aralığında belirlenmiştir. Hastalık inokule edilen gruplar da ise, daha düşük yansımaya değerleri saptanmış, gelişmenin ileri aşamalarında ise artan hastalık dozu uygulamasına bağlı olarak NIR bölgesinde daha yüksek yansımaya değerlerinin varlığı belirlenmiştir. Bu durum incelenen erken gelişme döneminde bitkilerin klorofil ve pigment miktarının fazla olması ve buna bağlı olarak ışık absorpsiyonunun yüksek olmasından kaynaklanmasyla ilişkilendirilmiştir. Erken dönemde görünür bölgede hastalık inokule edilen ve edilmeyen gruplar arasındaki yansımaya değerleri arasında fark daha sınırlı olarak değerlendirilirken, bu oran NIR bölgesinin içinde yer aldığı geç dönemde 710-972 nm bant aralığında daha yüksek olarak belirlenmiştir. NIR bölgede hastalık inokule edilen ve edilmeyen gruplar karşılaştırıldığında hastalık belirtisi gözlenen gruplarda daha düşük yansımaya değerleri saptanmıştır. Yansımaya değerleri incelendiğinde, bu bant aralığında en büyük farklılık %25 hastalık dozu uygulamasında belirlenmiş olup bu durumu sırasıyla %50 ve %100 hastalık dozu uygulamaları takip etmiştir. Bitki fenolojik periyotları göz önüne alındığında hem hastalık inokule edilen hem de edilmeyen grupların spektral yansımaya farklılıkları görünür bölgede Mavi+Yeşil (Blue+Green) bölgede 426-575 nm bant aralığında, Kırmızı+Kırmızı Sınır bölgesinde 585-740 nm bant aralığında ve NIR bölgesinde 760-1050 nm bant aralığında yüksek korelasyon değişimleri belirlenmiştir (Şekil 13). Farklı bant aralıklarındaki bu değişimler yaprakların yaşlanma sürecine bağlı olarak mezofil dokulardaki pigmentlerin kapsamı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Gitelson ve ark., 2002).



Şekil 12. Fenolojik Dönem-Yansımaya (%) İlişkisi (Kızıltan 91 çeşidinde hastalık inokule edilmeyen grup)

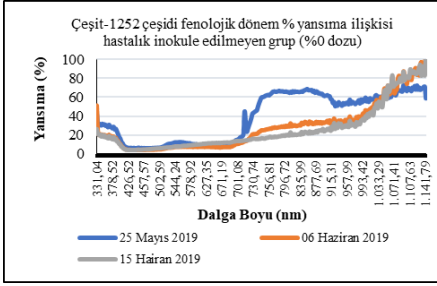
Figure 12. Phenological Period-Reflection (%) Relationship (Kızıltan 91 variety disease not inoculated group)



Şekil 13. Fenolojik Dönem-Yansımaya (%) İlişkisi (Kızıltan 91 çeşidi hastalık inokule edilen gruplar)

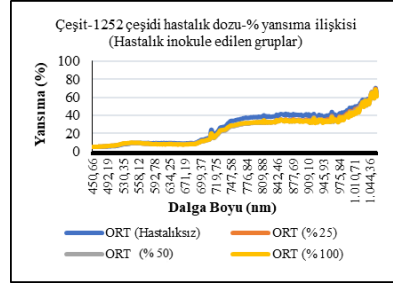
Figure 13. Phenological Period-Reflection (%) Relationship (Kızıltan 91 variety disease inoculated groups)

Çeşit-1252 çeşidi için; Farklı fenolojik dönemlerde hastalık inoküle edilmeyen grupta en yüksek yansımaya değerlerine (%27-%68), erken dönemleri içine alan çiçeklenme başlangıcında belirlenmiştir. NIR bölgesinde yer alan Kırmızı+Kırmızı Sınır bantlarında (685-930 nm) belirlenmiş olup, dane bağlama dönemi olan erken-orta dönemin bunu takip ettiği değerlendirilmiştir (%7.66-%35). Orta-geç dönemde (süt olum) ise aynı bant aralığında daha sınırlı (%14-%32) yansımaya değerleri saptanmıştır (Şekil 14). Hastalık inoküle edilmeyen grupta en yüksek yansımaya değerleri (%26-%38) Kırmızı+ NIR 730-950 nm bantları aralığında belirlenmiştir. Bu durumu aynı bant aralığında daha düşük yansımaya değerleri (%24-%34) belirlenen %25, %50 ve %100 hastalık dozu uygulamalarının izlediği değerlendirilmiştir (Şekil 15).



Şekil 14. Fenolojik Dönem-Yansımaya (%) İlişkisi (Çeşit-1252 çeşidinde hastalık inoküle edilmeyen grup)

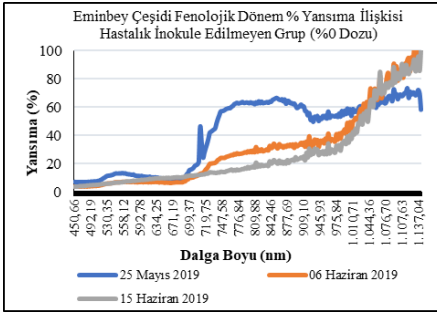
Figure 14. Phenological Period-Reflection (%) Relationship (Çeşit-1252 variety disease not inoculated group)



Şekil 15. Fenolojik Dönem-Yansımaya (%) İlişkisi (Çeşit-1252 çeşidi hastalık inoküle edilen gruplar)

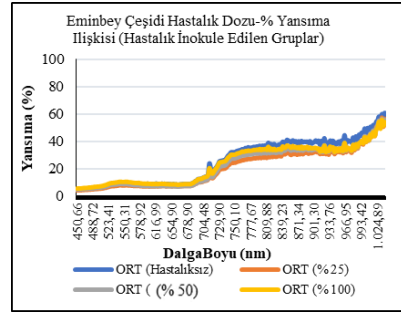
Figure 15. Phenological Period-Reflection (%) Relationship (Çeşit-1252 variety disease inoculated groups)

Eminbey çeşidi için; Hastalık inoküle edilmeyen grupta en yüksek yansımaya değerleri (%16-%63), çiçeklenme başlangıcı döneminde NIR bölgesinde yer alan Kırmızı+Kırmızı Sınır bantlarında (700-930 nm) belirlenmiş olup, bunu dane bağlama dönemi olan erken-orta döneminin izlediği değerlendirilmiştir (%12-%34). Orta-geç dönemde ise aynı bant aralığında daha düşük yansımaya değerlerinin varlığı değerlendirilmiştir (%11-%27) (Şekil 16). Hastalık inoküle edilmeyen ve edilen grupların farklı hastalık dozu uygulamalarında en yüksek yansımaya değerleri (%21-%41), hastalık inoküle edilmeyen grupta Kırmızı+ NIR 720-1007 nm bantları aralığında belirlenmiştir. Bu durumu aynı bant aralığında daha düşük yansımaya değerleri (%21-%33) gösteren %100, %50 ve %25 hastalık dozu uygulamalarının sırasıyla izlediği değerlendirilmiştir (Şekil 17).



Şekil 16. Fenolojik Dönem-Yansıma (%) İlişkisi (Eminbey çeşidinde hastalık inokule edilmeyen grup)

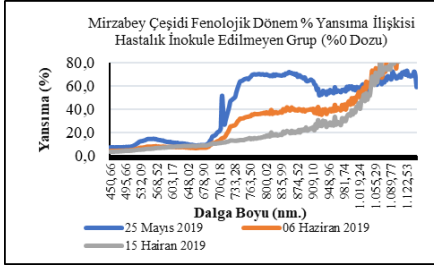
Figure 16. Phenological Period-Reflection (%) Relationship (Eminbey variety disease not inoculated group)



Şekil 17. Fenolojik Dönem-Yansıma (%) İlişkisi (Eminbey çeşidi hastalık inokule edilen gruplar)

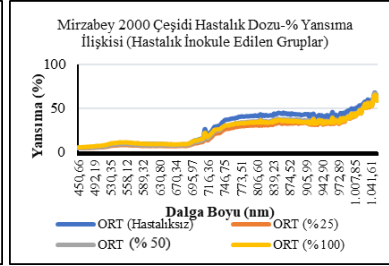
Figure 17. Phenological Period-Reflection (%) Relationship (Eminbey variety disease inoculated groups)

Mirzabey 2000 çeşidi için; Farklı fenolojik dönemler de hastalık inokule edilmeyen grup da en yüksek yansıma değerlerine (%15-%62) çiçeklenme başlangıcında NIR bölgesinde yer alan Kırmızı+Kırmızı Sınır bantlarında (682-912 nm) değerlendirilmiş edilmiş olup, bunu dane bağlama dönemi olan erken-orta dönem takip etmiştir (%10-%35). Orta-geç dönemde ise aynı bant aralığında daha düşük yansıma değerleri (%10-%26) belirlenmiştir (Şekil 18). Hastalık inokule edilen ve inokule edilmeyen gruplar birlikte değerlendirildiğinde, farklı hastalık dozu uygulamalarında en yüksek yansıma değerleri (%19-%44), hastalık inokule edilmeyen grupta Kırmızı+NIR bölgeleri bantları (712-915 nm) aralığında değerlendirilmiştir. Bu durumu aynı bant aralığında daha sınırlı yansıma değerleri belirlenen %50, %100 ve %25 hastalık dozu uygulamalarının sırasıyla (%17-%37) izlediği (Şekil 19) değerlendirilmiştir.



Şekil 18. Fenolojik Dönem-Yansıma (%) İlişkisi (Mirzabey 2000 çeşidinde hastalık inoküle edilmeyen grup)

Figure 18. Phenological Period-Reflection (%) Relationship (Mirzabey 2000 variety disease not inoculated group)



Şekil 19. Fenolojik Dönem-Yansıma (%) İlişkisi (Mirzabey 2000 çeşidi hastalık inoküle edilen gruplar)

Figure 19. Phenological Period-Reflection (%) Relationship (Mirzabey 2000 variety disease inoculated groups)

Makarnalık grup birlikte değerlendirildiğinde; Hastalık inoküle edilmeyen grubun ayırımında kullanılacak olan etkili bölge, NIR bölgesi olarak belirlenmiştir. Hastalık inoküle edilen ve edilmeyen grupların ayırımında kullanılan bölgenin (NIR) spektral bant aralığı içinde kalan en düşük ve en yüksek yansıma değerleri arasındaki farkın, farklı hastalık dozu uygulamaları arasındaki hastalık şiddetinin ortaya konulmasında etkili olabileceği belirlenmiştir. NIR bölgede hastalık inoküle edilen ve edilmeyen gruplar karşılaştırıldığında, yansıma değerlerindeki farkların yüksek olması, hastalık şiddetinin daha yüksek olarak belirlenmesi, farkın düşük olması ise hastalık şiddetinin daha düşük olması sonucunu ortaya koyabileceğini düşündürmektedir.

Makarnalık çeşitler üzerinden yapılacak genel bir değerlendirme olarak; NIR bölgesindeki hastalık inoküle edilmeyen grup ile farklı hastalık dozu uygulamaları arasındaki yansıma değerlerindeki farkın en fazla Eminbey (%32.20-%76.17) çeşidinde olduğu belirlenmiştir. Bu durumu sırasıyla Kızıltan 91 (%34.79-%78.17), Çeşit-1252 (%34.21-%74.23) ve Mirzabey 2000 çeşitleri (%37.18-%75.08) izlemiştir. Makarnalık çeşitlerde %25 hastalık dozu uygulaması ile hastalık inoküle edilmeyen grup karşılaştırıldığında yansıma değerleri arasındaki en fazla fark (%50.49) Eminbey çeşidinde, en küçük fark (%47.23) ise Kızıltan 91 çeşidinde saptanmıştır. Benzer şekilde yapılan karşılaştırmalar da; %50 hastalık dozu uygulamasında en fazla farkın (%49.99) Eminbey çeşidinde, en düşük farkın (%46.18) ise Mirzabey 2000 çeşidinde belirlenmiş olup %100 hastalık dozu uygulamasında ise NIR bölgesindeki en yüksek fark (%46.03) Çeşit-1252, en küçük fark (%43.72) ise Kızıltan 91 çeşidinde belirlendiği değerlendirilmiştir.

Farklı hastalık dozu uygulamalarının makarnalık çeşitler üzerindeki etkisi göz önüne alındığında, Kızıltan 91 çeşidinde en yüksek hastalık şiddeti %25 hastalık uygulama dozunda belirlenmiş, bunu sırasıyla %50 ve %100 hastalık dozu uygulamalarının izlediği saptanmıştır. Çeşit-1252 çeşidinde %25, %50 ve %100 hastalık dozu uygulamaları arasındaki yansıma değerleri birbirine benzer olup hastalık şiddeti değerleri arasında önemli bir fark belirlenmemiştir. Eminbey çeşidinde en yüksek hastalık şiddeti değerlerine %25 hastalık dozu uygulamasında belirlenmiş olup bu durumu sırasıyla %50 ve %100 hastalık dozu uygulamalarının izlediği saptanmıştır. Mirzabey 2000 çeşidinde en fazla hastalık şiddeti değerlerine %25 hastalık dozu uygulamasında belirlenmiş olup bu durumu sırasıyla %100 ve %50 hastalık dozu uygulamalarının takip ettiği saptanmıştır (Çizelge 5).

Çizelge 5. Makarnalık buğday çeşitlerinde spektral bant bölgelerine göre farklı hastalık dozlarına karşılık gelen yansıma değerleri (%)

Table 5. Reflection values corresponding to different disease doses according to spectral band regions in durum wheat varieties (%)

Çeşitler	Hastalık Dozları	% Yansıma Değeri Bant Aralıkları					
		Mavi 335-510	Yeşil 510-600	Kırmızı 600-700	Kırmızı Sınır 700-750 nm	NIR 750-1100 nm	NIR Fark
Çeşit-1252	%0	24.06-6.36	6.36-9.22	9.22-12.94	12.94-34.21	34.21-74.23	40.02
	%25	19.92-6.74	6.74-7.82	7.82-11.24	11.24-28.35	28.35-76.54	48.19
	%50	19.38-6.68	6.68-7.79	7.79-11.07	11.07-28.03	28.03-76.09	48.06
	%100	19.87-7.22	7.22-8.14	8.14-11.43	11.43-28.95	28.95-74.88	46.03
Eminbey	%0	24.24-6.33	6.33-9.05	9.05-12.59	12.59-32.20	32.20-76.17	43.97
	%25	18.90-6.13	6.13-7.34	7.34-10.24	10.24-24.45	24.45-74.94	50.49
	%50	19.29-6.44	6.44-7.08	7.08-10.04	10.04-27.16	27.16-77.15	49.99
	%100	19.94-7.55	7.55-8.77	8.77-12.17	12.17-30.30	30.30-76.32	46.02
Kızıltan	%0	25.74-7.48	7.48-10.72	10.72-14.49	14.49-34.79	34.79-78.17	43.38
	%25	20.72-7.04	7.04-8.35	8.35-11.43	11.43-27.38	27.38-74.61	47.23
	%50	20.64-6.74	6.74-7.87	7.87-11.20	11.20-30.24	30.24-78.01	47.77
	%100	22.43-8.37	8.37-9.91	9.91-13.62	13.62-31.80	31.80-75.52	43.72
Mirzabey 2000	%0	25.10-6.25	6.25-9.20	9.20-13.05	13.05-37.18	37.18-75.08	37.90
	%25	19.19-5.52	5.52-6.83	6.83-9.78	9.78-26.70	26.70-75.28	48.58
	%50	20.38-6.56	6.56-8.05	8.05-11.51	11.51-30.74	30.74-76.92	46.18
	%100	21.35-8.22	8.22-9.70	9.70-13.35	13.35-30.57	30.57-75.06	44.49

Yansıma değerleri arasındaki bu farkın hastalık inokule edilmeyen grup da makarnalık çeşitler için NIR bölgesinde daha düşük olması, hastalığın yoğun olarak gözlemlendiği geç dönemlerde ise hastalık şiddetinin artması ile ilişkilendirilmiştir. Bu durumun yansıma değerleri farklı hastalık dozu uygulaması yapılan gruplar ile hastalık inokule edilmeyen grupların ayırımının daha kolay olmasına imkan verebileceğini düşündürmektedir (Çizelge 6).

Çizelge 6. Hastalık inokule edilmeyen (%0) makarnalık çeşitlerde bant bölgelerine göre fenolojik dönemler için hesaplanan spektral yansıma değerleri ve bant aralıkları

Table 6. Spectral reflectance values and ranges calculated for phenological periods according to band regions in durum varieties not inoculated (0%) with disease

Çeşitler	Fenolojik Dönem	% Yansıma Değeri Bant Aralıkları					
		Mavi 335-510	Yeşil 510-600	Kırmızı 600-700	Kırmızı Sınır 700-750 nm	NIR 750-1100 nm	NIR Fark
Çeşit-1252	10.5.1	22.28-7.84	7.84-9.87	9.87-15.19	15.19-61.53	61.53-67.09	5.56
	10.5.3	20.48-4.82	4.82-7.16	7.16-15.19	15.19-24.99	24.99-81.52	56.53
	10.5.4	20.46-6.17	6.17-9.89	9.89-13.41	13.41-16.12	16.12-81.70	65.58
Emimbey	10.5.1	32.17-8.28	8.28-11.24	11.24-15.94	15.94-58.28	58.28-65.95	7.67
	10.5.3	19.92-5.17	5.17-8.42	8.42-11.46	11.46-24.33	24.33-90.41	66.08
	10.5.4	18.27-5.36	5.36-8.45	8.45-11.48	11.48-13.98	13.98-82.79	68.81
Kızıltan 91	10.5.1	22.17-8.16	8.16-10.47	10.47-15.19	15.19-58.95	58.95-69.55	10.60
	10.5.3	19.96-9.78	9.78-6.17	6.17-9.02	9.02-21.72	21.72-82.27	60.55
	10.5.4	25.92-9.89	9.89-15.27	15.27-19.25	19.25-21.72	21.72-87.29	65.57
Mirzabey 2000	10.5.1	23.52-8.76	8.76-11.92	11.92-17.44	17.44-65.60	65.60-66.79	1.19
	10.5.3	19.05-4.78	4.78-7.87	7.87-17.44	17.44-32.37	32.37-83.67	51.30
	10.5.4	19.02-4.78	4.78-7.82	7.82-10.63	10.63-13.56	13.56-83.67	70.11

Bazı bitki patojenler ise yapraklar üzerinde nekrozlara (ölü alanlar) neden olabilir. Nekrotik yüzeylerde, yaprak alanının bu kısmının kurumaması nedeniyle oluşan hücresel yapının bozulmasının bir sonucu olarak bu alanda pigmentler deforme olurlar ve özelliklerini yitirirler (Monteith 1972; Aparicio ve ark., 2000; Trotter ve ark., 2002; Nicolas, 2004; Muurinen ve Peltonen-Sainio, 2006).

Hastalık enfeksiyonu, böcek zararı ve nem eksikliği nedeniyle pigmentlerce ışığın absorbe edilmesini azaltır, bu nedenle spektrumun görünür bölge de daha

yüksek yansımaya sebep olur. Bitkilerde strese neden olan faktörler, yaprakların iç boşluklarında hücre duvarının bozulmasına NIR bölgedeki yansımanın azalmasına sebep olur. Sonuç olarak, görünür ve NIR bölgedeki bu değişiklikler, bitki hastalık ve böcek zararlarının belirlenmesinde kullanılacak vejetatif canlılıkta değişiklikleri ortaya çıkarabilirler (Hatfield ve Finter 1993; Nilsson 1995b; Zhang ve ark., 2003).

Ekmeklik ve makarnalık buğday çeşitlerinde elektromanyetik spektrumun her kategorisi için hastalık inokule edilen ve edilmeyen gruplar için ortalama spektral yansıma değerleri elde edilmiştir. Hastalık inokule edilmeyen grupta, “Yeşil bant” dışındaki “görünür” bölgede yüksek absorpsiyon (düşük reflektans) belirlenirken, “Yakın Kızıl Ötesi” bölgede düşük absorpsiyon (yüksek reflektans) belirlenmiş *olup bu durum Nilsson ve ark. (1995a) çalışması ile uyumludur. Bu periyot süresince hastalık inokule edilen grup test bitkilerin yansıma eğrisinin şekli ile, hastalık inokule edilmeyen grup test bitkilerin yansıma eğrisi temelde birbirine benzerlik göstermekle birlikte görünür bölgede fotosentetik pigmentler nedeniyle düşük reflektans, NIR bölgede ise yüksek reflektans gösterdiği belirlenmiştir. Genel olarak büyümedeki artışa bağlı olarak erken dönemde görünür bölgede yansıma değerinde artış, gelişmenin ileri aşamalarında NIR bölgede azalma eğilimi gözleendiği rapor edilmiştir (Feng ve ark., 2017). Kardeşlenme ve sapa kalkma döneminde (159-210 DAS) (Days After Sowing; Ekimden Sonraki Günler)), hastalık belirtisi hastalık inokule edilen ve edilmeyen gruplar arasındaki reflektans değerleri arasındaki farklılığın belirginliği sınırlı olup, bitki gelişiminin ileri dönemlerinde 25 Nisan 2019 (159 DAS), 25 Mayıs (189 DAS), 06 Haziran (201 DAS), 15 Haziran 2019 (210 DAS) bu farklılık daha belirgindir. Gelişmenin ileri dönemlerinde görünür bölgede (500-700 nm) hastalık inokule edilen ve belirti gözlenen gruplar yansıma değerleri hastalık inokule edilmeyen grup test bitkilerinin yansıma değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. NIR bölgede ise hastalık inokule edilen ve inokule edilmeyen gruplara karşılaştırıldığında hastalık inokule edilen (belirti gözlenen) bitkilerin hastalık inokule edilmeyen bitkilere göre daha düşük yansıma değerleri gösterdiği belirlenmiştir. Spektral farklılıklarının karşılaştırılması sonucu hem hastalık inokule edilen gruplarda ve hem de hastalık inokule edilmeyen gruplarda test materyali bitkilerin Kırmızı ve NIR bölgede 520-710 nm, 730-1000 nm (DAS 210) bant değerlerinde yüksek yansıma değerlerine ulaştığı belirlenmiştir. Bu değişimler bitkilerin mezofil dokusundaki pigmentlerin kapsamı ve yaprakların yaşlanması ile ilgili olduğu farklı araştırmalarda rapor edilmiştir (Yuan ve ark., 2013).*

Bitki hastalıklarının tespitinde, spektral verilerin etkin olarak kullanımı, uygulama amacına bağlıdır. Bant aralıklarına göre 400-700 nm bitkinin yaprak pigment kompozisyonu ve strüktürünü, 700-1100 nm ise su kapsamı hakkında bilgi verebilmektedir (Mahlein ve ark., 2013).

Hastalık belirtisi gözlenmeyen test bitkilerinde, “Yeşil bant” dışındaki “Görünür bölgede” yüksek absorpsiyon (düşük reflektans) belirlenirken, “Yakın Kızıl Ötesi” bölgede düşük absorpsiyon (yüksek reflektans) belirlendiği rapor edilmiştir (Nilsson ve ark., 1995a). Spektral farklılıkların karşılaştırılması sonucu hem hastalık inokule edilmeyen ve hem de hastalık inokule edilen grupların Kırmızı (520-710 nm) ve Yakın Kızıl Ötesi (730-1000 nm) bölgedeki bant değerlerinde yüksek yansımaya değerlerine ulaştığı belirlenmiştir. Elde edilmiş bu sonuçlar bizim çalışmamızla uyum göstermiştir. Çalışmamızda, buğdayın üç farklı fenolojik döneminde elde edilen yansımaya değerleri göz önüne alındığında, hastalık inokule edilmeyen test grubunda çiçeklenme başlangıcı dönemlerinde pigment konsantrasyonunun en yüksek ve yeşil olduğu dönemde NIR bölgede (695-930) yansımaya değerleri yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durumu sapa kalkma dönemi bunu takip etmiş, gelişmenin geç aşamalarında dane bağlama ve süt olum döneminde ise daha düşük yansımaya değerleri dikkati çekmiştir. Hastalık inokule edilen ve edilmeyen bitkiler arasındaki yansımaya değerleri arasındaki belirlenen fark, erken dönemde birbirine daha yakın, geç dönemde ise daha belirgin olarak değerlendirilmiştir. Bu nedenle buğdayda sarı pas hastalığı inokule edilen ve edilmeyen hastaliksız bitkilerin ayrımında kullanılabilecek en etkili spektral bölgenin “Yakın Kızıl Ötesi” (NIR) ve bu bölge içerisine giren bantların olduğu tespit edilmiştir.

Ekmeklik çeşitler üzerinden yapılacak bir değerlendirmede; NIR bölgesindeki hastalık inokule edilmeyen grup ile farklı hastalık dozu uygulamaları arasındaki en yüksek yansımaya değeri farkı (%34.96-78.30) Bayraktar 2000 çeşidinde belirlenmiştir. Bunu sırasıyla, Eser (%36.54-78.96), Kenanbey (%34.44-75.61) ve Demir 2000 (%39.02-77.95) çeşitlerinin izlediği değerlendirilmiştir. Ekmeklik çeşitlerde, %25 hastalık dozu uygulamalarında en yüksek fark (%40.67) Bayraktar 2000 çeşidinde tespit edilmiş olup, en küçük fark (%30.62) ise Demir 2000 çeşidinde belirlenmiştir.

Ekmeklik çeşitler için hastalık inokule edilmiş bitkiler için NIR bölgesinde yansımaya değerleri arasındaki bu farka en fazla Kenanbey çeşidinde %50 hastalık dozu uygulamasında belirlenmiş (%49.04) olup, bunu sırasıyla, %50 hastalık dozu uygulamasında Bayraktar 2000 (%48.21) çeşidi, %100 hastalık dozu uygulamasında Kenanbey (%46.70) çeşidi, %50 hastalık dozu uygulamasında Eser (%46.69) çeşidi ve %50 hastalık dozu uygulamasında Demir 2000 (%44.75) çeşidinin izlediği belirlenmiştir.

Makarnalık çeşitlerde erken dönemde (185., 197. ve 206. günler) hastalık inokule edilmeyen grupta erken dönemde 550-700 nm bant aralığında daha yüksek, farklı hastalık dozu inokule edilen gruplarda ise daha düşük yansımaya değerleri belirlenmiş, gelişmenin ileri aşamalarında ise artan hastalık dozu uygulamasına bağlı olarak hastalık gözlenen gruplarda da daha yüksek yansımaya değerleri belirlenmiştir. Bu durum erken dönemde bitkilerin klorofil ve pigment düzeyinin fazla olması ve buna bağlı olarak ışık absorpsiyonunun yüksek olmasından kaynaklanmasıyla

ilişkilendirilmiştir. Erken dönemde görünür bölgede hastalık inokule edilen ve farklı dozlar da hastalık inokule edilen gruplar arasındaki yansıma değerleri arasında fark daha sınırlı olarak değerlendirilirken, bu oran NIR bölgesinin içinde yer aldığı geç dönemde 710-972 nm bant aralığında daha yüksektir. NIR bölgesinde hastalık inokule edilen edilmeyen gruplar karşılaştırıldığında farklı dozlarda hastalık inokule edilen gruplarda daha düşük yansıma değeri belirlenmiştir. Yansıma değerleri birlikte incelendiğinde bu bant aralığında en büyük fark %25 hastalık dozu uygulamasında belirlenmiş bu durumu sırasıyla %50 ve %100 hastalık dozu uygulamaları takip etmiştir.

Makarnalık çeşitler üzerinden yapılacak bir değerlendirmede; NIR bölgesindeki hastalık inokule edilmeyen grup ile hastalığın farklı dozu uygulamaları arasındaki yansıma değerindeki farkın en yüksek (%32.20-76.17) olduğu çeşit Eminbey'dir. Bunu sırasıyla Kızıltan 91 (%34.79-78.17), Çeşit-1252 (%34.21-74.23) ve Mirzabey 2000 (%37.18-75.08) çeşitlerinin izlediği belirlenmiştir. Makarnalık çeşitlerde %25 hastalık dozu uygulaması grubu ile hastalık inokule edilmeyen grup karşılaştırıldığında, yansıma değerleri arasındaki en yüksek fark (%50.49) Eminbey çeşidinde, en küçük fark (%47.23) ise Kızıltan 91 çeşidinde saptanmıştır. Makarnalık çeşitlerde %50 hastalık dozu uygulamasında en yüksek fark (%49.99) Eminbey çeşidinde, en düşük fark (%46.18) ise Mirzabey 2000 çeşidinde belirlenmiştir. %100 hastalık dozu uygulamasında ise NIR bölgesindeki en yüksek fark (%46.03) Çeşit-1252 çeşidinde, en küçük fark (%43.72) ise Kızıltan 91 çeşidinde belirlenmiştir.

Ekmeklik ve Makarnalık çeşitlerinde çiçeklenme başlangıcı dönemi, erken orta dönemde görünür bölge bantlarında, düşük yansıma değerleri gözlenirken, en yüksek yansıma değerlerine, hastalık inokule edilmeyen bitkilerde kırmızı bölgeden itibaren özellikle Yakın Kızıl Ötesi bölgede belirlenmiştir. Gelişmenin ileri aşamalarında ise Yakın Kızıl Ötesi bölge bantlarında yansıma değerlerinde azalma, görünür bölge bantlarında ise artış eğilimi belirlenmiştir. Çalışma sonucunda buğdayda farklı fenolojik dönemlerde belirlenen yansıma değerleri incelendiğinde sarı pas hastalığının teşhisinde erken-orta gelişme döneminde, görünür bölge bantlarının, orta-geç dönemde ise yakın kızıl ötesi bölge bantlarının daha belirleyici olduğu görülmüştür.

Gelecekteki çalışmalara alçak irtifaya sahip insansız hava araçları üzerine monte edilen yüksek çözünürlükteki hiperspektral kameralarla sık aralıklarla elde edilen hastalıklı bitki görüntülerinin, yerden toplanan eğitim verilerinin doğrulama amacıyla kullanılmasıyla yapay zeka ve derin öğrenme teknikleriyle entegre edilerek hastalık takibinde daha kısa zamanda ve daha kesin sonuçlar alınması yönünde şekillenecektir.

Teşekkür

Bu çalışma Metin AYDOĞDU tarafından Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Biyoteknoloji Anabilim Dalında yürütülen “Kışlık buğdayda farklı demir ve çinko uygulamalarının sarı pas (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) hastalığı üzerine olan mevsimsel etkilerinin çok bantlı veriler kullanılarak belirlenmesi” isimli yüksek lisans tezinin (YÖK Tez No: 671046/Tarih: 25.05.2021) bir kısmını kapsamaktadır. Tez jürisinde bulunan sayın Prof. Dr. Hikmet GÜNAL ve sayın Dr. Öğr. Üyesi Nurullah ACİRE katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederim.

Etik

Bu çalışma etik kurul onayı gerektirmez.

Yazar Katkı Oranları

Çalışmanın Tasarlanması (Design of Study): MA (%80), KA(%20)

Veri Toplanması (Data Acquisition): MA(%90), KA(%10)

Veri Analizi (Data Analysis): MA(%70), KA(%30)

Makalenin Yazımı (Writing Up): MA(%80), KA(%20)

Makalenin Gönderimi ve Revizyonu (Submission and Revision): MA(%80), KA(%20)

KAYNAKLAR

- Anonim, 2019. Ankara Yenimahalle lokasyonu iklim verileri. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü
- Akan, K. 2019. Sarı Pas (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) hastalığına dayanıklı makarnalık buğday hatlarının geliştirilmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6: 661-670.
- Aparicio, N. Villegas, D. and Casadesus, J. 2000. Spectral vegetation indices as nondestructive tools for determining durum wheat yield. *Agronomy Journal* 92,83-81.
- Campbell, J.B., 1996. Introduction to remote sensing, The Guilford Press, New York.
- Devadas, R., Lamb, D. W., Backhouse, D., Simpfendorfer, S. (2015). Sequential application of hyperspectral indices for delineation of stripe rust infection and nitrogen deficiency in wheat. *Precision Agriculture*, 16, 477-491. <https://doi.org/10.1007/s11119-015-9390-0>.
- Feng, W., Qi, S., Heng, Y., Zhou, Y., Wu, Y., Liu, W., He, L., Li, X. 2017. Canopy vegetation indices from in situ hyperspectral data to assess plant water status of winter wheat under powdery mildew stress. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1219.
- Fowler, D. 2018. Winter Wheat Production Manual Chapter 2: Conservation and Winter Wheat Development. In book: Winter Wheat Production Manual Publisher: Ducks Unlimited Canada and Conservation Production Systems Ltd.
- Gitelson, A. A., Merzlyak, M. N., Chivkunova, O. B. 2001. Optical properties and nondestructive estimation of anthocyanin content in plant leaves. *Photochemistry and Photobiology*, 74(1), 38-45. [https://doi.org/10.1562/0031-8655\(2001\)0740038OPANEO2.0.CO2](https://doi.org/10.1562/0031-8655(2001)0740038OPANEO2.0.CO2)
- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., Stark, R., & Rundquist, D. (2002). Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 76-87.
- Huang, W., Lamb, D. W., Niu, Z., Zhang, Y., Liu, L., Wang, J. 2007. Identification of yellow rust in wheat using in-situ spectral reflectance measurements and airborne hyperspectral imaging. *Precision Agriculture*, 8, 187-197.
- Hätfield, P. L., Pinter Jr, P. J. (1993). Remote sensing for crop protection. *Crop Protection*, 12(6), 403-413. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(93\)90001-Y](https://doi.org/10.1016/0261-2194(93)90001-Y).
- Huang, W., Lamb, D. W., Niu, Z., Zhang, Y., Liu, L., Wang, J. 2007. Identification of yellow rust in wheat using in-situ spectral reflectance measurements and airborne hyperspectral imaging. *Precision Agriculture*, 8, 187-197.
- Huang, N., Niu, Z., Zhan, Y., Xu, S., Tappert, M. C., Wu, C., Huang W., Gao S., Hou, X., Cai, D. (2012). Relationships between soil respiration and photosynthesis-related spectral vegetation indices in two cropland ecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 160, 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.03.005>
- IBM SPSS Statistics 2016. IBM SPSS Statistics software version 24. Chicago.
- Large, E. C. (1954). Growth stages in cereals. Illustration of the Feekes scale. *Plant Pathology*, 3, 128-129. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1954.tb00716.x>.
- Li, G. B., Zeng, S. M., Li, Z. Q. 1989. Integrated management of wheat pests (pp. 185-186). Beijing: Press of Agriculture Science and Technology of China.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. 1994. Remote sensing and image interpretation, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
- Lu, J., Ehsani, R., Shi, Y., de Castro, A. I., Wang, S. 2018. Detection of multi-tomato leaf diseases (late blight, target and bacterial spots) in different stages by using a spectral-based sensor. *Scientific Reports*, 8(1), 2793. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21191-6>.
- Mahlein, A. K., Rumpf, T., Welke, P., Dehne, H. W., Plümer, L., Steiner, U., Oerke, E. C. 2013. Development of spectral indices for detecting and identifying plant diseases. *Remote Sensing of Environment*, 128, 21-30. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.09.019>
- Monteith, J.L. 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems, *J. Appl. Ecol.*, 9, 747-766.
- Moshou, D., Bravo, C., Oberti, R., West, J., Bodria, L., McCartney, A., Ramon, H. 2005. Plant disease detection based on data fusion of hyper-spectral and multi-spectral fluorescence imaging using Kohonen maps. *Real-Time Imaging*, 11(2), 75-83. <https://doi.org/10.1016/j.rti.2005.03.003>.
- Moshou, D., Bravo, C., West, J., Wahlen, S., McCartney, A., Ramon, H. 2004. Automatic detection of 'yellow rust' in wheat using reflectance measurements and neural networks. *Computers and electronics in agriculture*, 44(3), 173-188. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.04.003>.
- Muurinen, S., and Peltonen-Sainio, P. 2006. Radiation-use efficiency of modern and old spring cereal cultivars and its response to nitrogen in northern growing conditions. *Field Crops Research* 96(2-3), 363-373.
- Myers, V. I. 1983. Remote sensing applications in agriculture (in Manual of Remote Sensing) American Soc. Photogram, and Rem. Sens., Falls Church, Va 2111-228.

- Naidu, R. A., Perry, E. M., Pierce, F. J., Mekuria, T. 2009. The potential of spectral reflectance technique for the detection of Grapevine leafroll-associated virus-3 in two red-berried wine grape cultivars. *Computers and Electronics in Agriculture*, 66(1), 38-45. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.11.007>
- Nicolas, H. 2004. Using remote sensing to determine of the date of a fungicide application on winter wheat. *Crop Protection*, 23(9), 853-863. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2004.01.008>
- Nilsson, H.E. 1995a. Remote sensing and image analysis in plant pathology. *Annual review of pPhytopathology*, 33(1), 489-528.
- Nilsson, H.E., 1995b. Remote sensing and image analysis in plant pathology, *Canadian Journal of Plant Pathology*, 17, 154-166.
- Penuelas, J., Baret, F., Filella, I. 1995. Semi-empirical indices to assess carotenoids/chlorophyll a ratio from leaf spectral reflectance. *Photosynthetica*, 31(2), 221-230.
- Peterson, R. F., Campbell, A. B., Hannah, A. E. 1948. A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals. *Canadian Journal of Research*, 26(5), 496-500. <https://doi.org/10.1139/cjr48c-033>
- Qin, Z., Zhang, M. 2005. Detection of rice sheath blight for in-season disease management using multispectral remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 7(2), 115-128. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2005.03.004>
- Roelfs, A.P., Singh, R.P., and Saari, E.E., 1992. *Rust Diseases of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management*. Mexico, D.F.: CIMMYT. 81 pages.
- Trotter, G.M., Whitehead, D. and Pinkney, E.J. 2002, The photochemical reflectance index as a measure of photosynthetic light use efficiency for plants of varying foliar nitrogen contents, *International Journal of Remote Sensing*, 23(6), 1207-1212.
- Yuan, L., Zhang, J. C., Wang, K., Loraamm, R. W., Huang, W. J., Wang, J. H., Zhao, J. L. 2013. Analysis of spectral difference between the foreside and backside of leaves in yellow rust disease detection for winter wheat. *Precision Agriculture*, 14, 495-511.
- Zhang, M., Qin, Z., Ustin, S.L., 2003. Detection of stress in tomatoes induced by late blight disease in California, USA, using hyperspectral remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 4(4):295-310. DOI: 10.1016/S0303-2434(03)00008-4.
- Zhang, J., Pu, R., Huang, W., Yuan, L., Luo, J., Wang, J. 2012. Using in-situ hyperspectral data for detecting and discriminating yellow rust disease from nutrient stresses. *Field Crops Research*, 134, 165-174. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.05.011>.