

Atf İçin: Aydoğdu, M. ve Akan, K. (2024). Buğday'da Hiperspektral Veriler Kullanılarak Sarı Pas Hastalığının İzlenmesinde Spektral Oranlama Kullanımı *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(1), 39-51.

To Cite: Aydoğdu, M. & Akan, K. (2024). Use of Spectral Ratio Technique in Monitoring Yellow Rust Disease Using Hyperspectral Data in Wheat. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 14(1), 39-51.

Buğday'da Hiperspektral Veriler Kullanılarak Sarı Pas Hastalığının İzlenmesinde Spektral Oranlama Tekniğinin Kullanımı

Metin AYDOĞDU¹, Kadir AKAN²

Öne Çıkanlar:

- Buğday
- Çok bantlı veri
- Sarı Pas

Anahtar Kelimeler:

- Buğday
- Sarı pas
- Uzaktan algılama
- Spektral yansımaya
- Hastalık dozu

ÖZET:

Buğdayda sarı pas hastalığı, küresel düzeyde yaşanabilen epidemiler nedeniyle gıda güvenliğini tehdit eden önemli fungal streslerden birisidir. Bu çalışma ile hastalığın (Etmen; *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*), buğdayda farklı fenolojik dönemlerde izlenmesi ve reaksiyon değişimlerinin ortaya konulabilmesi için spektral yansımaya değerleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında hastalık inoküle edilmeyen ve hastalık inoküle edilen test materyallerinde yapılan değerlendirmeler sonucu elde edilen spektral yansımaya değerleri oranlanmış, geliştirilen grafikler yorumlanarak stresin farklı bant aralıklarındaki gelişimi değerlendirilmiştir. 2018-2019 yetiştirme sezonunda yürütülen çalışmada bitki materyali olarak; Bayraktar 2000, Demir 2000, Eser ve Kenanbey ekmeçlik çeşitleri ile Çeşit-1252, Eminbey, Kızıltan 91 ve Mirzabey 2000 makarnalık çeşitleri kullanılmıştır. Test materyalinin tümü Ekim ayı içerisinde, 33-35 cm sıra arası ve 1 m uzunluğundaki sıralara 3 tekerrürlü olarak elle ekilmiştir. Hastalığın yeni toplanmış sporları uçucu mineral yağ (Soltrol 170®) kullanılarak %, %25, %50, %100 uygulama dozlarında test materyaline inoküle edilmiştir. Hastalığın reaksiyon değerlendirmeleri 25 Mayıs ile 06, 15, 23 Haziran tarihlerinde yapılmış olup enfeksiyon kat sayıları hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda; hastalık inoküle edilmeyen ve hastalık inoküle edilen test materyallerinde değerlendirmelerle yansımaya oranları dikkate alınarak farklı fenolojik dönemler için yansımaya eğrileri oluşturulmuştur. Hastalık inoküle edilen genotiplerde spektral yansımaya değerlerinin, aynı gelişme dönemi sürecinde görünür bölgede arttığı, yakın kızılötesi bölgede azaldığı belirlenmiştir. Hastalık reaksiyonunun değerlendirilmesinde kullanılabilir en etkili hastalık dozu ekmeçlik çeşitler için %50, makarnalık çeşitler için %25 dozu olarak değerlendirilmiştir. Çalışma ile; buğdayın farklı büyüme evrelerinde kanopinin spektral yansımalarındaki dinamik değişimler, hastalık reaksiyonuyla olan ilişkilerin sayısal olarak analiz edilmesinin mümkün olduğu değerlendirilmiştir. Farklı bant aralıklarında bu bölgelerdeki değişimlerin, yaprakların yaşlanma sürecine bağlı olarak mezofil dokulardaki pigmentlerin kapsamı ile ilişkili olduğunu düşündürmektedir.

Use of Spectral Ratio Technique in Monitoring Yellow Rust Disease Using Hyperspectral Data in Wheat

Highlights:

- Wheat
- Hyperspectral Data
- Yellow rust

Keywords:

- Wheat
- Yellow rust
- Remote Sensing
- Spectral reflectance
- Disease dose

ABSTRACT:

Yellow rust disease in wheat is one of the major fungal pressures threatening food security as a result of global outbreaks. In this work, spectral reflection values were employed to monitor the disease (Caused by; *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) and indicate reaction variations in wheat over distinct phenological phases. The spectrum reflection values obtained as a consequence of the assessments done in the genotypes with and without the disease were apportioned within the scope of the study, and the development of the stress in different band gaps was tracked by reading the graphs created. As research plant material in the study carried out in the 2018-2019 growing season; Bayraktar 2000, Demir 2000, Eser and Kenanbey bread varieties and Çeşit-1252, Eminbey, Kızıltan 91 and Mirzabey 2000 durum varieties were used. All of the test material was sown by hand in 3 replications in rows 33-35 cm apart and 1 m long in October. Using essential mineral oil (Soltrol 170®), the newly collected disease spores were inoculated into the test material at doses of 0%, 25%, 50%, and 100%. Evaluations of disease's reactions were made using the Modified Cobb scale between 25 May and 06, 15 and 23 June, and infection coefficients were derived using these results. As a result of the investigation, reflection curves for various phenological periods were constructed, accounting for reflection rates based on assessments of genotypes with and without illness. It was discovered that throughout the same developmental period, the spectral reflectance values of the disease-inoculated genotypes increased in the visible region and reduced in the near infrared area. The most effective disease dose to utilize in assessing the disease reaction was determined to be 50% for bread types and 25% for durum varieties. With effort, it was demonstrated that it was able to numerically analyses the correlations with the disease reaction through dynamic changes in the spectrum reflections of the canopy at various growth stages of wheat. Variations in these regions at various band ranges are assumed to be related to the extent of the pigments in mesophyll tissues as a result of the ageing process of leaves.

¹ Metin AYDOĞDU (Orcid ID: 0000-0001-6920-1976), Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Coğrafi Bilgi Sistemleri Merkezi, 06170 Yenimahalle / Ankara-Türkiye

² Kadir AKAN (Orcid ID: 0000-0002-1612-859X), Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü, 40100 Kırşehir, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Metin AYDOĞDU, e-mail: metin.aydogdu@tarimorman.gov.tr.tr

GİRİŞ

Dünyada buğday üretilen ekolojilerde önemli verim ve kalite kayıplarına sebep olan buğday hastalıklarının başında, *Puccinia* etmenlerinin neden olduğu pas hastalıkları gelmektedir (Samborski, 1985; Roelfs, 1978). Pas hastalıkları hakim rüzgarlarla, geniş alanlara yayılabilir. Diğer taraftan hastalığın biyolojik sürecinde yeni ırklar (ırklar/patotipler) oluşturma kapasiteleri, küresel düzeyde buğday üretimi için potansiyel bir tehdit oluşturmaktadır (Saari ve Prescott 1985; Kolmer 2005; Tekin ve ark., 2021; Tekin ve ark., 2022; Cat ve ark., 2023). Farklı pas türleri, hastalığın gelişmesi için uygun iklim değişiklikleri, kültürel uygulamalar, hassas çeşit yetiştiriciliğinin yapılması ve değişen patojen popülasyonları gibi bazı faktörlerin bir veya birkaçının aynı zamanda olduğu durumlarda şiddetli pas hastalığı salgınları görülmektedir (Eversmeyer ve Kramer, 2000). *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* etmeninin neden olduğu sarı/çizgi pas (yellow/stripe) hastalığının gelişimi için en uygun sıcaklıklar 12-20°C olup ilkbahar ve erken sonbahar, geç sonbahar ve yaz başı döneminde yüksek rakımlarda etkili olmaktadır (Çat ve ark., 2017). Özellikle ilkbahar mevsiminde birbirini takip eden yağışlı ve soğuk yıllarda Türkiye'de birçok sarı pas epidemisi önemli verim kayıplarına yol açmıştır (Düşünceli ve ark., 1996). Hastalık konukçusunun yaprak ve başaklarında da görülebilmekle birlikte özellikle yapraklarda sarı, açık portakal sarısı rengi, küçük ve makine dikişi gibi benzeri olan yazlık spor yapılarıyla kolayca teşhis edilebilir (Murray ve ark., 2005; Watkins 2006). Sarı pas hastalığının bitkinin erken dönemde gelişmesi üzerine olumsuz etkisi olup, bu oran %70'e ulaşabilen ekonomik kayıplara neden olabilmektedir. Özellikle hassas çeşitlerde verim azalmakta ve dane olması gerektiğinde daha küçük olduğu için kalite üzerinde olumsuz etkisi olduğu bilinmektedir (Chen, 2005).

Özellikle ilkbahar mevsiminde birbirini takip eden yağışlı ve düşük sıcaklık koşullarında Türkiye'de birçok sarı pas hastalığı epidemisi nedeniyle önemli verim kayıplarına yol açtığı bildirilmiştir. 1991 yılında Orta Anadolu yetiştiricilik alanlarında 1 milyon tondan fazla ekimi yapılan Gerek-79 ekmeklik buğday çeşidinde, sarı pas hastalığı epidemisi nedeniyle %26.5'luk bir ürün kaybına neden olduğunu bildirilmiştir (Braun ve Saari, 1992). Benzer şekilde, Çukurova bölgesinde 1995 yılında ve Orta Anadolu Bölgesinde 1988 yılında toplam 1.2 milyon tona yaklaşan 568 milyon dolarlık kayba neden olduğu bildirilmiştir (Düşünceli ve ark., 1996). 2010 yılında sarı pas hastalığı epidemisi nedeniyle ülkemiz, buğday ekiliş alanlarının yarısında hastalığın görüldüğü ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde 1.5-2 milyon ton (%50-60) bir kayıp olduğu bildirilmiştir (Aktaş ve ark., 2012). Bununla birlikte hastalığın şiddeti, konukçunun dayanıklılığına, enfeksiyonun ilk görülme zamanına, hastalık gelişme oranına ve hastalığın bitkide görülme süresine bağlıdır.

Uzaktan algılama tekniklerindeki son dönemde yaşanan gelişmeler, bitki hastalıklarının belirlenmesinde "hiperspektral teknikler" kullanılarak incelenen alandaki bitkilere herhangi bir zarar verilmeden teşhis imkanları sağlayabilmektedir (Lu ve ark., 2018). "Hiperspektral Uzaktan Algılama" tekniklerinin, farklı özelliklerdeki bitki stres faktörlerinin neden olduğu, fakat gözle fark edilmesi mümkün olmayan biyokimyasal ve biyofiziksel bazı değişikliklerin belirlenmesinde kullanılabileceği bildirilmiştir (Mahlein ve ark., 2013). Yapılan hiperspektral analizler, sahip oldukları zengin dar bant ve yüksek çözünürlük özellikleri nedeniyle üretim alanlarındaki olası abiyotik ve biyotik stres faktörlerinin neden olabileceği biyofiziksel değişimlerin ortaya konulabilmesi için bir araçtır. Bu yönüyle farklı gelişme dönemlerindeki bitkilerde bulunabilen bazı bitki hastalıklarının belirlenmesi için farklı düzeyde farklı bilgilerin elde edilebilmesinin mümkün olabileceği rapor edilmiştir (Zhang ve ark., 2012; Devadas ve ark., 2015).

Birçok basit ama etkili optik araç kullanılarak, insan gözünün algılayabileceğinden çok daha geniş bir spektral bant aralığında nesne veya yapılar algılanabilmektedir (Hatfield ve Pinter, 1993; Nicolas,

2004; Moshou ve ark., 2005; Qin ve Zhang, 2005). “Optik Sensor ve Uzaktan Algılama” teknolojisindeki gelişmeler, geniş üretim alanlarında bitki vejetasyonun gelişiminin ve bazı abiyotik ile biyotik stres(lerinin) şiddeti arasındaki ilişkilerin ortaya konulmasında, kişisel önyargılardan doğabilecek hataları en aza indirerek veya kısmen ortadan kaldırarak, gerçeğe yakın doğru sonuçların ortaya koyabilen parametrelere ilişkin sürekli kayıt altına alabilme imkanı verebilmektedir. Optik sensor teknolojisi ve buna bağlı uzaktan algılama teknikleri, bitki kanopisinin spektral yansıma karakteristikleri üzerine dayandırılmaktadır. Bu karakteristikler; bitkinin farklı vejetatif dönemlerinde sağlığına, yaprağın pigment ve fotokimyasal kapsamına ve bunların ışık ile olan ilişkisine bağlıdır (Merzlyak ve Chivkunova, 2001).

Bitki hastalıkları, böcek zararı ve nem eksikliği nedeniyle bitkilerde bulunan bazı pigmentlerce ışığın absorbe edilmesi azalmakta ve bu durumun bir sonucu olarak spektrumun görünür bölgesinde daha yüksek yansıma sebeptir. Farklı bitki hastalıklarının tespitinde, spektral verilerin etkin olarak kullanımı, uygulama amacına bağlıdır. Spektral bant aralıklarına göre; 400-700 nm bitkinin yaprak pigment kompozisyonu ve strüktürünü, 700-1100 nm ise su içeriği hakkında bilgi verebilmektedir (Mahlein ve ark., 2013). Bitki yaprağının sahip olduğu klorofil, antosiyanin ve su miktarını belirlemek için farklı dalga boylarından reflektans değerleri kullanılarak elde edilmiş farklı indekslerin geliştirildiği bilinmektedir (Gitelson, ve ark., 2002; Penuelas ve ark., 1995). Örneğin Naidu ve ark., (2009) tarafından yürütülen bir çalışmada, bitki virüs hastalıklarının teşhisinde yaprak reflektans değerlerini kullanmıştır. Benzer şekilde Moshou ve ark., (2004), tarafından yürütülen bir çalışmada ise; bitkilerde kanopi seviyesinde yapılan çalışmalarda, spektral bölgede pas hastalığının belirlenmesinde kullanılabilir en hassas bantların 680, 725 ve 750 nm olduğunu bildirmişlerdir. Yine Zhang ve ark., (2012), sarı pas hastalığı enfeksiyonlarının, bazı spektral bant bölgelerindeki spektral deformasyonlar ve spektral özellikler arasında korelasyonlar olduğunu bildirmişlerdir.

Bu çalışmanın amacı; Yapay epidemi şartlarında buğdayda farklı sarı pas (Etmen; *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) hastalık uygulama dozlarında değişen fenolojik dönemlere göre hastalık şiddeti gelişiminin spektral yansıma değerleri ile izlenmesidir. Çalışma sonucunda hastalık inoküle edilmeyen ve hastalık inoküle edilen test materyallerinin ayırımında kullanılabilir ve hastalık reaksiyonu da dikkate alınarak yapılan değerlendirmeleri en iyi korele eden spektral yansıma değerlerini ve bunların ayırımında kullanılacak olan bant aralıklarının ortaya konulabilmesidir.

MATERYAL VE METOT

Temel Araştırma Bilgileri

Araştırma; Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü (TARM) Yenimahalle lokasyonunda 2018-2019 üretim sezonunda tarla şartlarında yürütülmüştür. Yenimahalle lokasyonu Eylül 2018-Temmuz 2019 dönemi aylık ortalama iklim verileri (Anonim, 2019) birlikte değerlendirildiğinde aylık ortalama sıcaklık 12.08 °C, aylık ortalama yağış 33.2 mm olarak ölçülmüştür. Toprak tekstürü killi-tınlı olarak belirlenmiştir.

Bitki Materyali, Ekimi, Hastalığın İnokülasyonu ve Değerlendirilmesi

Sarı pas hastalığının izlenmesinde spektral oranlama tekniğinin kullanımının değerlendirilmesi için, sarı pas hastalığına reaksiyonları bilinen ve TARM tarafından tescil ettirilmiş ekmeklik Demir 2000, Kenanbey, Bayraktar 2000 ve Eser çeşitleri ile makarnalık Çeşit-1252, Kızıltan 91, Mirzabey 2000 ve Eminbey çeşitleri, çalışmada bitki materyali olarak kullanılmıştır (Tablo 1). Yapay epidemi şartlarında yürütülmüş olan çalışmada test materyalinin tarla (ergin) evresi reaksiyonları değerlendirilmiştir. Hassas kontrol genotipi olarak “Little Club (LC)” kullanılmıştır.

Tablo 1. Araştırmada kullanılan çeşitler, tescil yılı ve hastalık reaksiyonları

Ekmeklik Çeşitler			Makarnalık Çeşitler		
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

Hastalık dozu uygulamaları için (%0, %25, %50, %100) test materyalleri üç tekerrürlü olarak tesadüfi blokları deneme desenine uygun olarak ekilmiştir. Materyal, hastalık inokülasyon uygulaması yapılmayan 1 blok (%0 uygulama dozu veya negatif kontrol) hastalık inokülasyonu uygulanmış üç blok (%25, %50, %100 uygulama dozları) olmak üzere toplam (4 blok ekmeklik çeşitler + 4 blok makarnalık çeşitler) 8 bloğa ekilmiştir. Araştırma materyali ve Little Club genotipi, 33-35 cm sıra aralığındaki 1 metre uzunluğunda ki sıralara 3 sıra olacak şekilde ve 3 tekerrürlü olarak elle ekilmiştir. Test materyalinin ekiminde ayrıca, erken dönemde hastalığın bulaşmasını engellenmesi için tekerrürler arası mesafe 50 cm, farklı hastalık dozu uygulama blokları arasında mesafe 75 cm olacak şekilde ekim yapılmıştır. Uygulamalar arasında, hem hastalığın gelişim düzeyini kontrol etmek, hem de hastalığın tarlada homojen dağılımını sağlamak için LC genotipi test materyali aynı şekilde ve aynı zamanda ekilmiştir.

Hastalık inokülasyon uygulamaları Ulusal Bitki Koruma Standartlarına (Li ve ark., 1989) uygun olarak yapılmıştır. İnokülasyon için yeni toplanmış etmenin sporları (ürediosporları) %0 (Negatif kontrol grubu), 3 mg/200 mL (%25), 6 mg/200 mL (%50), 12 mg/200 mL (%100) dozları uçucu mineral yağ (Soltrol® 170) içerisinde homojenize edilerek ULV+ cihazı kullanılarak güneşin batışına yakın zamanda inoküle edilmiştir. Hastalık, reaksiyon değerlendirmelerinin yapılacağı 6 bloğa homojen olarak uygulanmış olup uygulamalar (bloklar) arası sporların sürüklenmesinin engellenmesi için plastik taşınabilir bariyerler kullanılmıştır. Test materyalinin farklı fenolojik gelişme dönemlerinin belirlenmesi için Feekes skalası kullanılmıştır (Large, 1954). “Sapa kalkma dönemi” olan 06 Mayıs 2019 tarihinde (Feekes 6) birinci inokülasyon, “çiçeklenme başlangıcı öncesi dönemi” (Feekes 10) olan 13 Mayıs 2019 tarihinde ikinci inokülasyon uygulaması yapılmıştır.

Erken dane dolum ve süt olum döneminde değişen düzeylerdeki sarı pas hastalık reaksiyonları değerlendirilmiştir. Spektral ölçümlerin yapılması için lokasyonun özelliğine bağlı olarak süt olum dönemi olan Mayıs ayının (25 Mayıs 2019) ortasından sonraki bir dönem seçilmiştir. Tüm test materyali ve LC genotipinin hastalık reaksiyonlarının değerlendirilmesi ve hiperspektral değerlendirmeleri 25 Mayıs 2019 (Çiçeklenme Başlangıcı (Erken Dönem) (Feekes 10.5.1), 06 Haziran 2019 (Dane Bağlama (Erken-Orta Dönem) (Feekes 10.5.3), 15 Haziran 2019 (Süt Olum Dönemi (Orta-Geç Dönem) (Feekes 10.5.4), 23 Haziran 2019 (Sararma Dönemi (Geç Dönem) (Feekes 11.1) tarihlerinde (7 gün aralıklı periyotlarla) eş zamanlı olarak yapılmıştır.

Hastalığın reaksiyonlarının değerlendirmeleri için “Modifiye Cobb” skalası kullanılmıştır. Hastalığın şiddeti (Hastalığın yaprakta kapladığı % alan) (Peterson ve ark, 1948) ve hastalığın reaksiyon tiplerinin (Yaprakta gözlenen reaksiyon tipleri; R:0,2; MR:0,4, MR-MS:0,6; MS:0,8; S: 1) (Roelfs ve ark., 1992) çarpılmasıyla Enfeksiyon Katsayısı (EK) hesaplanmıştır (Roelfs ve ark., 1992). EK hesaplandıktan sonra 5 grup oluşturulmuştur (Akan, 2019). Bu gruplandırmaya göre; 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 değerlendirilmiştir. EK ≤ 0-20; Dayanıklı grup, EK ≤ 20.1-100 hassas grup olarak değerlendirilmiştir.

Bitki Kanopi Seviyesi Spektral Yansıma Ölçümlerinin Alınması

Spektroradyometrik kanopi reflektans ölçümleri, portatif el spektroradyometre cihazı kullanılarak güneş ışığının yeryüzüne dik açıyla geldiği (11:00-15:00 saatleri arasında) ve bulutsuz zaman dilimlerinde yapılmıştır. Spektral sensor yardımıyla, spektral reflektans ölçümleri, buğdayın farklı gelişme dönemlerinde (Çiçeklenme ve süt olum dönemi arası (Feekes skalası 10.5.1 - 10.5.3 - 10.5.4 evreleri) farklı ama periyodik zaman aralıklarıyla (25 Mayıs 2019 ile 06 ve 15 Haziran 2019) 331-1141 nm 'lik bant genişliğinde 3 nm'lik aralıklarla alınmıştır. Sararma dönemi olan 23 Haziran 2019 tarihinde yapılan ölçümler amaca uygun olmadığı için değerlendirmeye alınmamasına karar verilmiş olup, değerlendirmeye erken dönem olan çiçeklenme başlangıcında (tarihinde) yapılan okumalar, geç dönem içerisine ise dane dolum dönemi (tarihinde) ve süt olum döneminde (tarihinde) alınan ölçümler dahil edilmiştir. Ekmeklik ve makarnalık buğday çeşitlerinde elektromanyetik spektrumun her kategorisi için hastalık inoküle edilmeyen ve hastalık inoküle edilen test materyallerinde yapılan ölçümlerin sadeleştirilmesi için ortalaması alınarak hesaplamada kullanılmış ve spektral yansıma değerleri elde edilmiştir. Ölçümler yaklaşık, toprak yüzeyine 25°'lik bir açı ile bitki kanopi yüzeyinden 25 cm'lik bir yükseklikten yapılmıştır. Yapılan tüm ölçümler bilgisayar ortamına kablo bağlantısı kullanılarak eş zamanlı olarak aktarılmıştır. Spektroradyometrenin kalibrasyonu, reflektans ölçümleri öncesinde standart beyaz bir levha (Ba_2SO_4) kullanılarak yapılmıştır. Yapılan kalibrasyonla tüm yansıma değerlerinin okumaları, gürültü ve atmosferin olumsuz etkilerinden en az derecede etkilenecek şekilde alınarak ölçümler tamamlanmıştır.

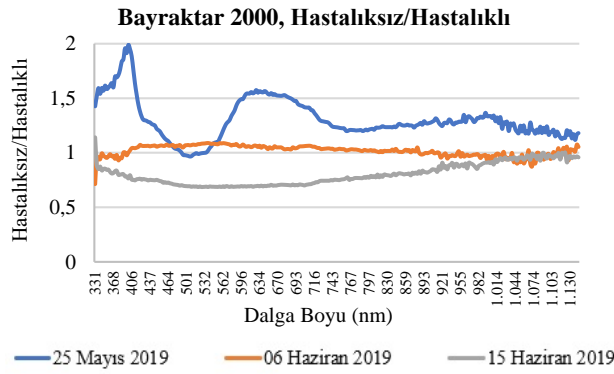
BULGULAR ve TARTIŞMA

Test materyali olan ekmeklik ve makarnalık buğday çeşitlerinde hastalık inoküle edilmeyen ve hastalık inoküle edilen test materyallerinde yansıma oranları (%) dikkate alınarak farklı fenolojik dönemler için yansıma eğrileri oluşturulmuştur.

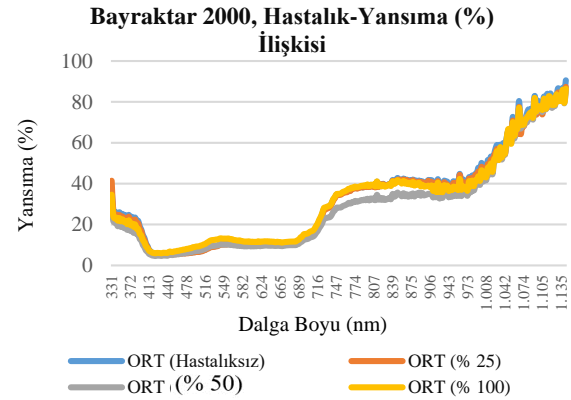
Ekmeklik çeşitlerin farklı fenolojik dönemlerinde elde edilen bulgular; Bayraktar 2000 çeşidinde, fenolojik dönemler arası yansıma değerleri arası farklılığın en fazla olduğu erken dönem (çiçeklenme başlangıcı) ve erken-orta dönem (dane dolum) olan dönem içerisinde yer alan Yeşil+Kırmızı+Kırmızı Sınır bölgesi içerisindeki 550-750 nm etkili bant aralığı olarak belirlenmiştir. Yakın kızılötesi (NIR, Near-infrared) bölge içerisinde yer alan 850-1150 nm bant aralığı hastalık inoküle edilmeyen ve hastalık inoküle edilen test materyallerin ayırımında önemli olduğu saptanmıştır (Şekil 1). Hastalık reaksiyonlarının ayırımında, en etkili hastalık dozu uygulamasının yine aynı bant aralığında %50 hastalık inokülasyon dozunun olduğu, bunu sırasıyla %100 ve %25 hastalık dozu uygulamalarının belirlenmiştir (Şekil 2).

Demir 2000 çeşidinde fenolojik dönemler arası yansıma değerleri arası farklılığın en fazla erken dönem çiçeklenme başlangıcı ve dane dolum dönemi içerisinde görünür bölgede Mavi+Yeşil bölgede 426-575 nm bant aralığında, Yeşil+Kırmızı bölgesi içerisinde yer alan 540-750 nm bant aralığının etkili olduğu saptanmıştır. Yakın kızılötesi bölge içerisinde yer alan 776-1134 nm bant aralığı hastalık inoküle edilmeyen ve hastalık inoküle edilen test materyallerin ayırımında önemli olarak değerlendirilmiştir (Şekil 3). Hastalık reaksiyonlarının ayırımında en etkili hastalık inokülasyon dozunun yine aynı bant aralığında %50 dozunun olduğu, bunu sırasıyla %100 ve %25 hastalık dozu uygulamalarının izlediği belirlenmiştir (Şekil 4).

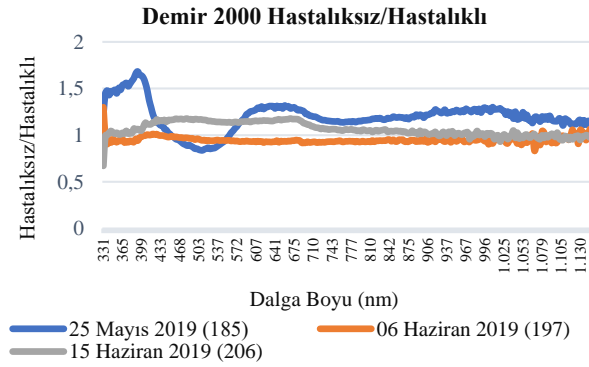
Buğday'da Çok Bantlı (Hyperspectral) Veriler Kullanılarak Sarı Pas Hastalığının İzlenmesinde Spektral Oranlama Tekniğinin Kullanımı



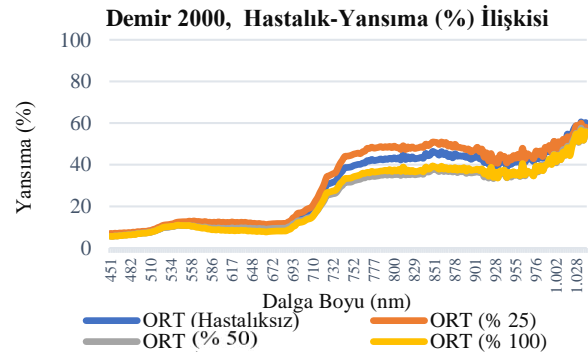
Şekil 1. Bayraktar 2000 çeşidinde hastalık gelişiminde etkili fenolojik dönemler



Şekil 2. Bayraktar 2000 çeşidinde hastalık gelişiminde etkili bant aralıkları

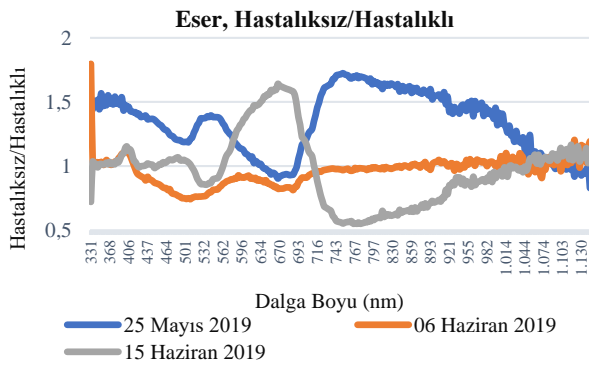


Şekil 3. Demir 2000 çeşidinde hastalık gelişiminde etkili fenolojik dönemler

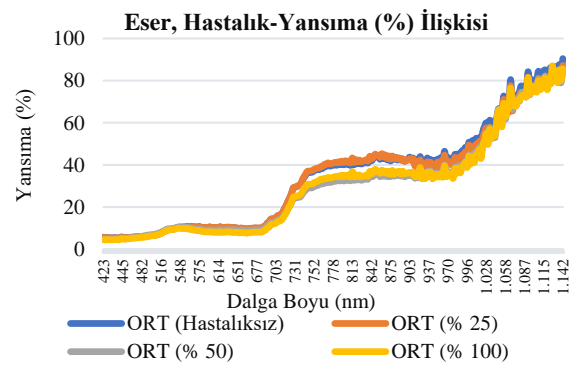


Şekil 4. Demir 2000 çeşidinde hastalık gelişiminde etkili bant aralıkları

Eser çeşidinde, hastalık inoküle edilmeyen ve hastalık inoküle edilen test materyallerin ayırımında kullanılacak olan etkili bant bölgeleri, görünür bölgede Yeşil+Kırmızı bölge bantları 575-702 nm aralığı olarak belirlenmiştir. Ancak en etkili bölgenin farklı fenolojik dönemler arası yansıma değeri aralığının en fazla olduğu erken dönemde yakın kızılötesi bölgesi bantlarından 702-1089 nm aralığı olduğu belirlenmiştir (Şekil 5). Hastalık reaksiyonlarının ayırımında en etkili hastalık inokülasyon dozlarının yine aynı bant aralığında %50 ve %100 hastalık dozu uygulamalarının olduğu belirlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 5. Eser çeşidinde hastalık gelişiminde etkili fenolojik dönem

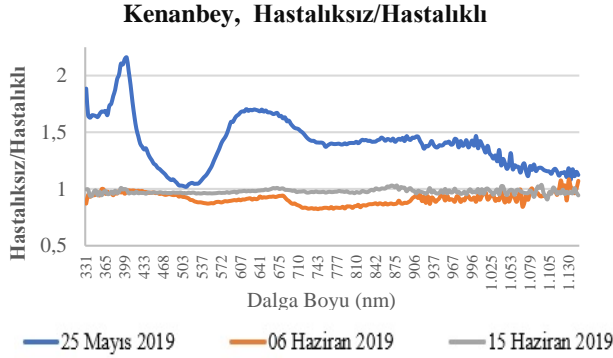


Şekil 6. Eser çeşidinde hastalık gelişiminde etkili bant aralıkları

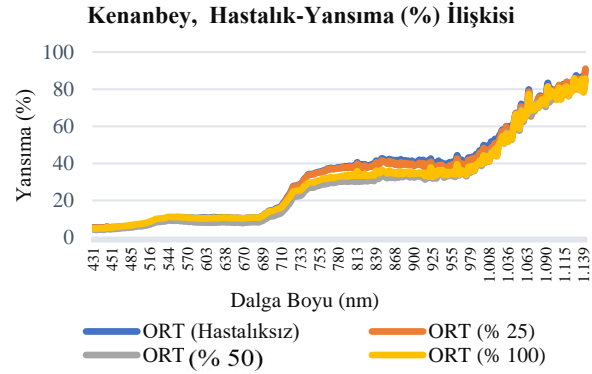
Kenanbey çeşidinde fenolojik dönemler arası yansıma değerleri arası farklılığın en fazla, erken dönem çiçeklenme başlangıcı ve erken-orta dönem olan dane dolmuş dönemi içerisinde yer alan

Buğday'da Çok Bantlı (Hyperspectral) Veriler Kullanılarak Sarı Pas Hastalığının İzlenmesinde Spektral Oranlama Tekniğinin Kullanımı

Yeşil+Kırmızı+Kırmızı Sınır bölgesi içerisindeki 530-756 nm bant aralığının etkili olduğu saptanmıştır. Yakın kızılötesi bölge içerisinde bulunan 760-1020 nm bant aralığı, hastalık inoküle edilmeyen ve hastalık inoküle edilen test materyallerin ayırımında önemli olduğu belirlenmiştir (Şekil 7). Hastalık reaksiyonlarının ayırımında en etkili hastalık inokülasyon dozunun yine aynı bant aralığında %50 dozu olduğu belirlenmiş olup bunu sırasıyla %100 ve %25 dozlarının takip ettiği belirlenmiştir. (Şekil 8).



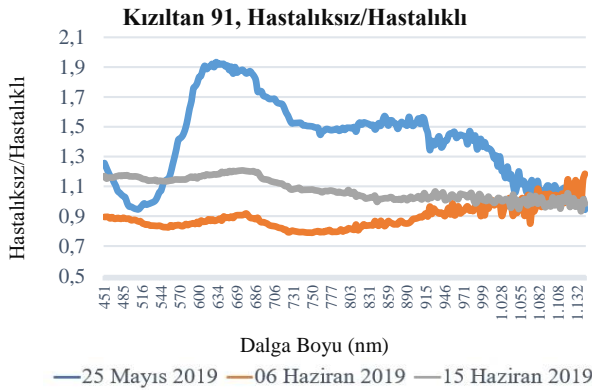
Şekil 7. Kenanbey çeşidinde hastalık gelişiminde etkili fenolojik dönem



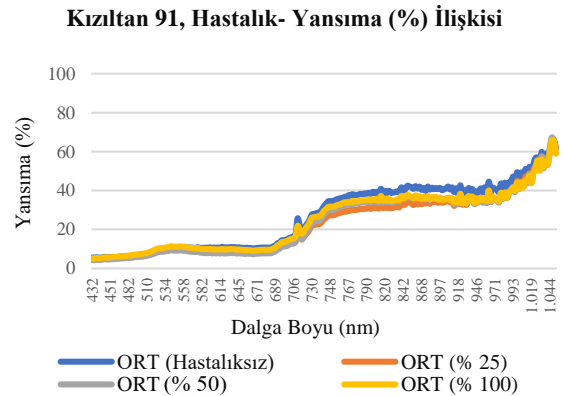
Şekil 8. Kenanbey çeşidinde hastalık gelişiminde etkili bant aralıkları

Makarnalık çeşitlerin farklı fenolojik dönemlerinde elde edilen bulgular;

Kızıltan 91 çeşidinde, fenolojik dönemler arası yansıma değerleri arası farklılığın en fazla, erken çiçeklenme başlangıcında, Yeşil+Kırmızı+Kırmızı Sınır bölgede yer alan 560-731 nm bant aralığında belirlenmiştir. Yakın kızılötesi bölge içerisinde yer alan 760-921 nm bant aralığı hastalık inoküle edilmeyen ve hastalık inoküle edilen test materyallerin ayırımında önemli olarak belirlenmiştir (Şekil 9). Hastalık reaksiyonlarının ayırımında en etkili hastalık inokülasyon dozunun yine aynı bant aralığında (760-921 nm) %25 dozu olduğu, bunu sırasıyla %50 ve %100 dozlarının takip ettiği belirlenmiştir (Şekil 10).



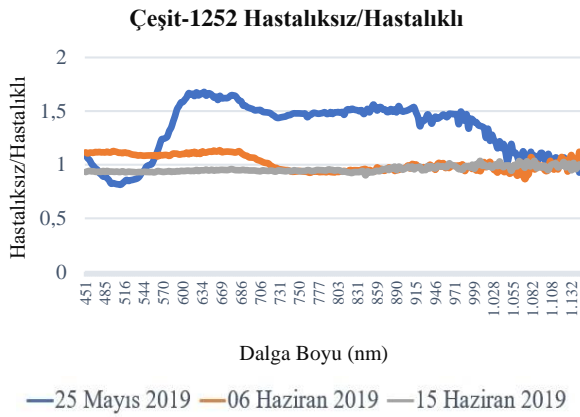
Şekil 9. Kızıltan 91 çeşidinde hastalık gelişiminde etkili fenolojik dönem



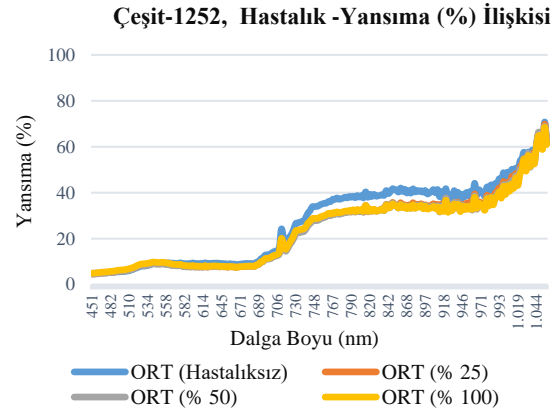
Şekil 10. Kızıltan 91 çeşidinde hastalık gelişiminde etkili bant aralıkları

Çeşit-1252 çeşidinde, fenolojik dönemler arası yansıma değerleri arası farklılığın en fazla, çiçeklenme başlangıcı olan dönemde Yeşil+Kırmızı+Kırmızı Sınır bölgede yer alan 550-730 nm etkili bant aralığında belirlenmiştir. Yakın kızılötesi bölge içerisinde yer alan 730-990 nm bant aralığının hastalık inoküle edilmeyen ve hastalık inoküle edilen test materyallerin ayırımında önemli olduğu saptanmıştır (Şekil 11). Hastalık reaksiyonlarının ayırımında en etkili hastalık inokülasyon dozunun yine aynı bant aralığında (730-990 nm) %100 dozu olduğu, bunu sırasıyla %50 ve %25 dozlarının izlediği belirlenmiştir (Şekil 12).

Buğday'da Çok Bantlı (Hyperspectral) Veriler Kullanılarak Sarı Pas Hastalığının İzlenmesinde Spektral Oranlama Tekniğinin Kullanımı

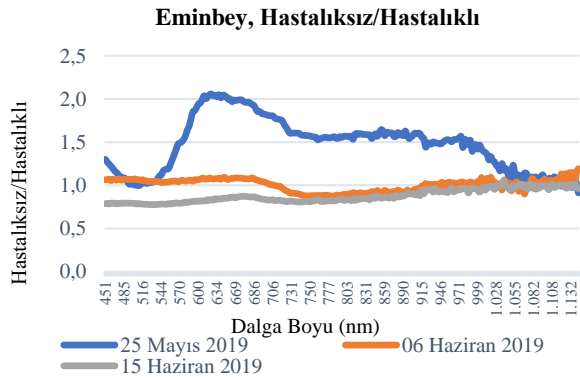


Şekil 11. Çeşit-1252 çeşidinde hastalık gelişiminde etkili fenolojik dönem

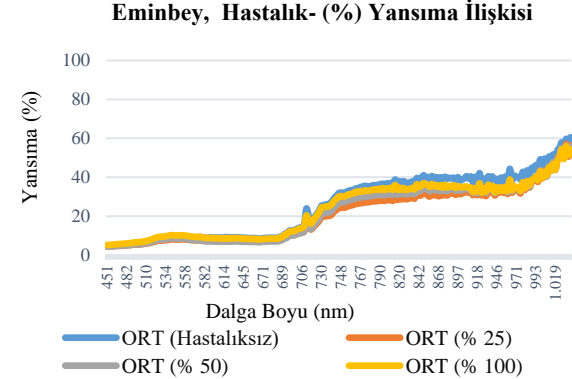


Şekil 12. Çeşit-1252 çeşidinde hastalık gelişiminde etkili bant aralıkları

Eminbey çeşidinde, fenolojik dönemler arası yansıma değerleri arasındaki fark en fazla, çiçeklenme başlangıcı olan dönemde Yeşil+Kırmızı+Kırmızı Sınır bölgede yer alan 544-760 nm etkili bant aralığında belirlenmiştir. Yakın kızılötesi bölge içerisinde yer alan 776-990 nm bant aralığı hastalık inoküle edilmeyen ve hastalık inoküle edilen test materyallerin ayırımında önemli olduğu saptanmıştır (Şekil 13). Hastalık reaksiyonlarının ayırımında en etkili hastalık inokülasyon dozunun yine aynı bant aralığında (776-990 nm) %25 dozu olduğu, bunu sırasıyla %50 ve %100 dozlarının izlediği belirlenmiştir (Şekil 14).



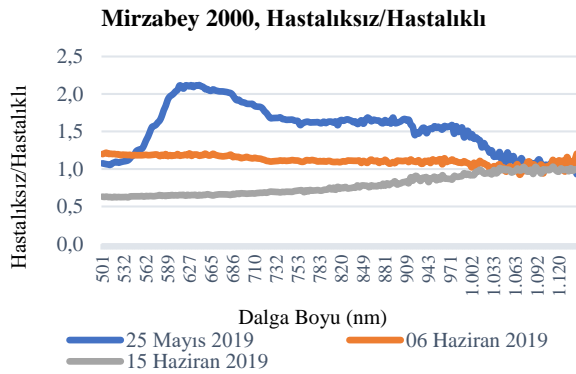
Şekil 13. Eminbey çeşidinde hastalık gelişiminde etkili fenolojik dönem



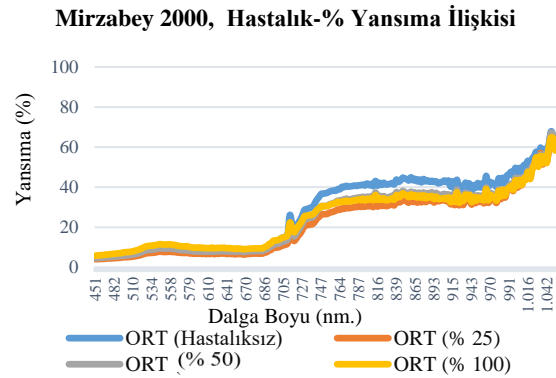
Şekil 14. Eminbey çeşidinde hastalık gelişiminde etkili bant aralıkları

Mirzabey 2000 çeşidinde, fenolojik dönemler arası yansıma değerleri arasındaki fark en fazla, çiçeklenme başlangıcı olan erken dönemde Yeşil+Kırmızı+Kırmızı Sınır bölgede yer alan 537-756 nm etkili bant aralığında belirlenmiştir. Yakın kızılötesi bölge içerisinde yer alan 760-912 nm bant aralığı hastalık inoküle edilmeyen ve hastalık inoküle edilen test materyallerin ayırımında önemli olarak saptanmıştır (Şekil 15). Hastalık reaksiyonlarının ayırımında en etkili hastalık inokülasyon dozlarının yine aynı bant aralığında (760-912 nm) %25 olduğu bunu sırasıyla %100 ve %50 hastalık dozlarının takip ettiği belirlenmiştir (Şekil 16).

Buğday'da Çok Bantlı (Hyperspectral) Veriler Kullanılarak Sarı Pas Hastalığının İzlenmesinde Spektral Oranlama Tekniğinin Kullanımı



Şekil 15. Mirzabey 2000 çeşidinde hastalık gelişiminde etkili fenolojik dönem



Şekil 16. Mirzabey 2000 çeşidinde hastalık gelişiminde etkili bant aralıkları

Bir yaprağın spektral-optik değerlendirilmesi, yaprağın strüktürü ve bu yapı içerisindeki mevcut pigmentlerin yapısına bağlıdır. Klorofil; bitkinin yeşil yaprakları içerisindeki mevcut dominant pigmenttir. İnsan gözü sadece canlı bitkinin rengi olarak yeşil ışığın baskın olduğu yansımasını görür (Myers, 1983; Lillesand ve Kiefer 1994; Campbell ve Wynne 2011). Bununla birlikte yaprak pigmentleri, yaprakların yansıma karakteristiklerini ve ışık absorpsiyonunu önemli düzeyde etkileyen karotenoidler ve antosiyaninler içerir. Yaprak gelişimi sürecinde klorofil miktarı zamanla azalır, karotenoidlerin 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 kızılötesi (NIR) dalga boylarında sarı yapraklar, yeşil yapraklara göre daha düşük yansıma göstermektedir (Myers 1983; Lillesand ve Kiefer, 1994; Campbell ve Wynne 2011). Yaprığın üst kutikula ve epidermisi NIR'a karşı hemen hemen tamamen şeffaf olup yaprağın dışına çok az NIR ışığı yansıtılır. Üst epidermis içerisinden geçen ışık, yaprağın mezofil dokuları ve boşlukları içerisine dağılır. Bunun çok az bir kısmı absorbe edilir. Geriye kalan önemli bir kısmı (%60) yaprak üst kısmına doğru yansıtılan enerji veya aşağıya doğru taşınan enerji olarak dağılır. Bu durum yaprakların iç strüktürün canlı vejetasyonuna oranla NIR yansımasından sorumlu olduğunun göstergesi olarak kabul edilebilir (Nilsson, 1995b). 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 (green) ışık ne kadar az absorbe edilirse o kadar fazla yansıtılır (Nilsson, 1995a). Hastalık belirtisi gözlenmeyen bitkilerde, yeşil bant dışındaki "görünür" bölgede yüksek absorpsiyon (düşük reflektans) belirlenirken, "NIR bölgede düşük absorpsiyon (yüksek reflektans)" belirlendiği bildirilmiştir (Nilsson, 1995a). Bu periyot süresince hastalık belirtisi gözlenen bitkilerin yansıma eğrisinin şekli ile, hastalık belirtisi gözlenmeyen bitkilerin yansıma eğrisi temelde birbirine benzerlik göstermekle birlikte görünür bölgede fotosentetik pigmentler nedeniyle düşük reflektans, NIR ise yüksek reflektans gösterdiği değerlendirilmiştir. Bu iki araştırmanın bu kısımlarının sonuçlarının benzer olduğu değerlendirilmiştir. Gelişimin ileri aşamalarında yakın kızılötesi bölgede düşüş eğilimi gözlemlendiği rapor edilmiş (Feng ve ark., 2017) olup çalışma ile genel olarak fenolojideki ilerlemeye bağlı olarak erken dönemde görünür bölgede yansıma değerinde artış olduğu belirlenmiştir. Çalışmada, kardeşlenme ve sapa kalkma döneminde hastalık inoküle edilmeyen ve hastalık inoküle edilen test materyallerin arasındaki reflektans değerleri arasındaki farklılık belirgin olarak değerlendirilmemişken, fenolojinin ileri dönemlerinde bu farklılık daha açık olarak değerlendirilmiştir. Bitki gelişiminin ileri dönemlerinde görünür bölgede (500-700 nm) hastalık inoküle edilen test materyallerinde yansıma değerleri, hastalık inoküle edilmeyen materyallerin yansıma değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yakın kızılötesi bölgede ise

hastalık inoküle edilen test materyallerin hastalık inoküle edilmeyen test materyallerine göre daha düşük yansıma değerleri gösterdiği tespit edilmiştir. Spektral farklılıklarının karşılaştırılması sonucu, hem hastalık inoküle edilmeyen hem de hastalık inoküle edilen test materyallerinde kırmızı ve yakın kızılötesi bölgede 520-710 nm, 730-1000 nm (Ekimden Sonraki Gün (DAS) 214 gün) bant değerlerinde yüksek yansıma değerlerine ulaşabildiği belirlenmiştir. Benzer sonuçlar Yuan ve ark., (2013) tarafından yürütülen bir çalışmada; farklı bant aralıklarındaki bu bölgelerdeki değişimler bitkilerin mezofil dokusundaki pigmentlerin kapsamı ve yaprakların yaşlanması ile ilgili olduğu rapor edilmiştir.

Test edilen materyalin, kanopi seviyesinde yapılan incelemelerinde bu yansıma değerlerinin değişimleri buğdayda kanopinin spektral reflektans karakteristikleri ile hastalık reaksiyonu arasındaki sayısal ilişkilerin ve analizlerin oluşturulmasının temelini teşkil ettiği düşünülmektedir. Bu değişimin ortaya konulabilmesi için aynı gelişme dönemi içerisinde hastalık inoküle edilmeyen materyallerinde spektral yansıma değerleri, hastalık inoküle edilen test materyallerinde yansıma değerlerine oranlanmış ve elde edilen değerler grafikler üzerinden yorumlanmıştır. Buğdayda farklı büyüme aşamalarına bağlı olarak kanopinin spektral yansımalarındaki dinamik değişimler, hastalık reaksiyonu ile olan ilişkilerin sayısal olarak analiz edilmesini mümkün hale getirmektedir. Bitkilerde strese neden olan faktörler, yaprakların iç boşluklarında hücre duvarının bozulmasına, Yakın kızılötesi (NIR, Near-infrared) bölgedeki yansımanın azalmasına neden olur. Bu durumun bir sonucu olarak, görünür ve NIR bölgedeki bu değişiklikler, bazı abiyotik ve biyotik strese bağlı zararların belirlenmesinde kullanılacak vejetatif canlılıktaki değişiklikleri ortaya çıkarabilirler (Hatfield ve Pinter 1993; Nilsson 1995b; Zhang ve ark., 2003).

SONUÇ

Bu çalışma ile farklı pas hastalık dozu uygulamalarına bağlı olarak farklı fenolojik gelişme dönemlerinde buğdayda strese bağlı ortaya çıkabilecek olan morfolojik değişimlerin elektromanyetik spektrum üzerinde farklı bant bölgelerine göre elde edilen spektral yansıma değerleri ile takibi esas alınmıştır. Eş zamanlı olarak hastalık inoküle edilen ve edilmeyen bitkilerden elde edilen bu yansıma değerleri oranlanarak özellikle hastalığın erken dönemde değişimin en fazla olduğu bant aralıkları bulunmaya çalışılmıştır. Hedefimiz çeşitler düzeyinde hastalık takibinde özellikle erken dönemde görünür ve Yakın Kızıl ötesi bölgede hangi bant aralıklarının etkili olduğunu ortaya koymaktır.

Ekmeklik buğday çeşitlerinde hastalıklı ve hastaliksız bitkilerde yansıma değerleri arasındaki farklılıklar çiçeklenme başlangıcı ve dane dolum döneminde görünür bölgede Yeşil+Kırmızı+Kırmızı Sınır bantlarında 426-776 nm aralığında fazla (yüksek) olarak değerlendirilmiş, hastalık reaksiyonlarının belirlenmesinde “en etkili bölge yakın kızılötesi 702-1150 nm” olarak değerlendirilmiştir. Makarnalık çeşitlerde ise yansıma değerleri arasındaki farklar Yeşil+Kırmızı+Kırmızı Sınır bantlarında 537-760 nm bant aralığında fazla (yüksek) olarak değerlendirilmiş olup, hastalık reaksiyonlarının belirlenmesinde “en etkili bölge yakın kızılötesi 730-990 nm” olarak tespit edilmiştir. Ekmeklik ve makarnalık buğday çeşitlerinde hastalık inoküle edilmeyen ve hastalık inoküle edilen test materyallerin yansıma oranları dikkate alınarak farklı fenolojik dönemler için yansıma eğrileri oluşturulmuştur. Hastalık inoküle edilmeyen ve hastalık inoküle edilen test materyaller karşılaştırıldığında sarı pas hastalığı ile inoküle edilmiş bitkilerin spektral yansıma değerleri, aynı gelişme dönemi süresince “görünür bölgede artarken”, “Yakın Kızılötesi” bölgede azalmıştır”. Hastalık reaksiyonunun ayırımında kullanılan en etkili hastalık dozu uygulaması ekmeklik çeşitlerde %50 olarak değerlendirilirken, bu dozu %100 ve %25 dozlarının izlediği belirlenmiş, makarnalık çeşitlerde %25 hastalık dozu uygulaması en etkili doz olarak değerlendirilirken, bu dozu %50 ve %100 dozlarının izlendiği belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu Araştırma 2018-2019 Yılları arası Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Patoloji deneme alanında 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 tezi (YÖK Tez No: 671046/Tarih: 25.05.2021) verilerinin bir kısmından faydalanılarak hazırlanmıştır. Tez jürisinde bulunan sayın Prof. Dr. Hikmet GÜNAL ve sayın Dr. Öğr. Üyesi Nurullah ACİR'e katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Çalışmaya katkılarından dolayı Dr. Nilüfer AKCI'ye teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Fikir/Hipotez, Materyal, Yöntem, Araştırma, Veri İşleme, Veri analizi, Görselleştirme, Yürütücü/Danışman, Proje Yönetimi, Özgün Taslak Hazırlama, Yazma-inceleme ve Düzenleme, M. AYDOĞDU; Veri işleme, Danışman, Yazma-İnceleme ve Düzenleme, K. AKAN, Bütün yazarlar yayına sunulan makalenin son şeklini gördüler ve onayladılar.

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.
- Aktas, H., Karaman M., Tekdal, S., Kılıç, H. & Kendal E. (2012). Evaluating of yield losses caused by yellow rust pressure in some bread wheat genotypes. 13th International Cereal Rusts and Powdery Mildews Conference. Beijing, Chine. Abstract book: Volume I., 16 p.
- Braun, H.J. & Saari E.E. (1992). An assessment of the potential of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* to cause yield losses in wheat on the Anatolian Plateau of Turkey. *Vortr. Planzenzuchtg.*24,121-123.
- Campbell, J.B. & Wynne, R.H. (2011). *Introduction to remote sensing*. Guilford Press. New York.
- Cat, A., Tekin, M., Akan, K., Akar, T., & Catal, M. (2023). Virulence characterization of the wheat stripe rust pathogen, *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, in Turkey from 2018 to 2020. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 45(2), 158-167.
- Çat A, Tekin M, Çatal M, Akan K, & Akar T. (2017). Buğdayda sarı pas hastalığı ve dayanıklılık ıslahı çalışmaları. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 30(2), 97-105.
- Chen X., 2005. Epidemiology and control of stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) on wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 27(3), 314- 337.
- 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>
- Düşünceli, F., Çetin, L. ve Albustan, S. (1996). Occurrence and Impact of wheat stripe rust (*Puccinia striiformis*) in Turkey in 1994/95 crop season. *Cereal Rusts and Powdery Mildews Bulletin*.24, Supplement.309 p. Proc. of the 9th CR&PMC,2-6 September 1996, Lunteren, The Netherlands.
- Eversmeyer, M. G. & Kramer, C.L. (2000). Epidemiology of wheat leaf and stem rust in the central great plains of the USA, *Annual Review of Phytopathology*. 38, 491–513.

- 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. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01219>.
- Gitelson, A., Kaufman, Y.J., Stark, R. & Rundquist, D. (2002). Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 80, 76-87.
- Hatfield, 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).
- Kolmer, J. A. (2005). Tracking wheat rust on a continental scale. *Current Opinion in Plant Biology*, 8(4), 441-449.
- Large, E.C. (1954). Growth stages in cereals illustration of the Feekes scale. *Plant Pathology*. 3 (4): 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*. (Nature), 8, 2793.
- Mahlein, A.K., Rumpf, T., Welke, P., Dehne, H.W., Plumer, L., Steiner, U. ve Oerke, E.C. (2013). Development of spectral indices for detecting and identifying plant diseases. *Remote Sensing of Environment*, 128, 21–30.
- 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.
- 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.
- 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 Korhonen maps. *Real-Time Imaging* 11(2), 75-83.
- Murray, G., Wellings, C., Simpfendorfer, S. & Cole, C. 2005. Stripe rust: Understanding the disease in wheat, New South Wales Department of Primary Industries. Retrieved from <http://www.ricecrc.org/reader/wintercereals/stripe-rust-in-wheat.pdf?MIvalObj=25431&doctype=document&MItypeObj=application/pdf&name=/stripe-rust-in-wheat.pdf>.
- Myers, V.I. (1983). Remote sensing applications in agriculture (in Manual of Remote Sensing) American Soc. Photogramm, 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, 38–45.
- Nicolas, H., (2004). Using remote sensing to determine of the date of a fungicide application on winter wheat, *Crop Protection*, 23(9), 853-863.
- Nilsson, H.E., (1995a.). Remote Sensing and Image Analysis in Plant Pathology. *Annual Review of Phytopathology*, 33:489-528. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.33.090195.002421>.

- Nilsson, H.E. (1995b). *Remote sensing and image analysis in plant pathology*, *Canadian Journal of Plant Pathology*, 17:2, 154-166, <https://doi.org/10.1080/07060669509500707>
- 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 (Section C),496-500.
- 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.
- Roelfs, A. P. (1978). Estimated losses caused by rust in small grain cereals in the United States, 1918-76 (No. 1363). US Department of Agriculture, *Agricultural Research Service*.
- Roelfs, A.P., Singh, R.P., & Saari. E.E. (1992). *Rust Diseases of Wheat: Concepts and methods of disease management*. Mexico, D.F.: CIMMYT. 81 pages.
- Samborski, D.J. (1985). 'Wheat leaf rust, in the cereal rusts, Vol. 2, Diseases, distribution, epidemiology, and control, A.P. Roelfs, and Bushnell, W.R. (ed), Academic Press, Orlando, FL, USA, 39-55 pp.
- Saari, E.E. & Prescott, J.M. (1985). World distribution in relation to economic losses., in the cereal rusts, Vol. 2, Diseases, distribution, epidemiology, and control, A.P. Roelfs and W.R. Bushnell (eds), Academic Press, Orlando, FL, USA, 259-298 pp.
- Tekin, M., Cat, A., Akan, K., Catal, M., & Akar, T. (2021). A new virulent race of wheat stripe rust pathogen (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) on the resistance gene *Yr5* in Turkey. *Plant Disease*, 105(10), 3292.
- Tekin, M., Cat, A., Akan, K., Demir, H., & Akar, T. (2022). Evaluation of resistance of Turkish bread wheat (*Triticum aestivum*) varieties to recently emerged *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* races. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 122, 101928.
- Watkins, J. E. (2006). Leaf, stem & stripe rust diseases of wheat. Neb Guide: University of Nebraska Lincoln. Retrieved March 23, 2006 from <http://elkhorn.unl.edu/e-public/pages/publicationD.jsp?publicationId=310#top>.
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(03\)00008-4](https://doi.org/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