

SPEKTRAL KÜTÜPHANE VE UYDU GÖRÜNTÜLERİ KULLANILARAK MISIR EKİLİ PARSELLERİN TESPİTİ

İsmail ÇÖLKESEN¹, Umut Güneş SEFERCİK¹, Taşkın KAVZOĞLU¹, Muhammed Yusuf ÖZTÜRK¹, Osman Yavuz ALTUNTAS¹, İlyas AYDIN¹, Mertcan NAZAR¹, Hasan TONBUL¹

¹Gebze Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze, Kocaeli

ÖZET

Mısır çeşitli gıdaların ham maddesi olması ve farklı endüstriyel alanlarda kullanımı nedeniyle dünya çapında önemli tarım ürünlerinden birisidir. Mısır genotiplerinin ve fenolojik evrelerinin tespit edilmesi hassas tarım çalışmalarında bitki sağlığı ve stresinin izlenmesi, verim tahmini ve kaynak kullanımının optimize edilmesi gibi birçok uygulama için büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada, 12 mısır genotipinin farklı fenolojik evrelerinde gerçekleştirilen arazi çalışmaları ile oluşturulan mısır bitkisine özgü spektral kütüphanenin farklı çözünürlükteki uydu görüntüleri ile ilişkilendirilerek genotip ve fenolojik evre kestiriminde kullanımı ele alınmıştır. Bu amaç doğrultusunda, spektral kütüphane farklı fenolojik evrelerde kaydedilen Sentinel-2 ve PlanetScope uydu görüntüleri ilişkilendirilerek DKC6980 ve P0937 genotiplerinin ekili olduğu 22 örnek tarım parseli için genotip ve fenolojik evre tahminlemeleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, spektral kütüphane ile Sentinel-2 uydu görüntülerinden iki mısır türünün ekili olduğu parsellerin V10-VT evrelerinde yaklaşık %80 genel doğrulukla tespit edilebildiğini gösterirken, genotip tahmininde en düşük doğruluğun %45 olduğu ve R1 evreye karşılık gelen görüntü için elde edilmiştir. Diğer yandan, spektral kütüphane V10-VT fenolojik dönemde alınan PlanetScope görüntüsü kullanılarak örnek parsellerde ekili bulunan genotipleri %68 doğrulukla tespit etmiştir. Spektral kütüphanedeki 12 genotipe ait farklı fenolojik dönem imzalarına dayanarak, kütüphanenin özellikle V10-VT dönemlerde tür ve evre tahmini için geniş alanlarda uygulanabilir olduğu söylenebilir.

Anahtar Sözcükler: Mısır, spektral kütüphane, spektrometre, Sentinel-2, PlanetScope.

DETERMINATION OF MAIZE CULTIVATED PARCELS USING SPECTRAL LIBRARY AND SATELLITE IMAGERY

ABSTRACT

Maize is one of the most important agricultural crops worldwide, serving as a raw material for a variety of foods and different industrial applications. Identifying maize genotypes and their phenological stages is crucial for many precision agriculture applications, such as monitoring plant health and stress, yield prediction, and optimizing resource utilization. This study discusses the use of a corn plant-specific spectral library, created through field studies of 12 maize genotypes at different phenological stages, in conjunction with satellite images of different resolutions, for genotype and phenological stage estimation. For this purpose, the spectral library was matched with Sentinel-2 and PlanetScope satellite images recorded at different phenological stages. Genotype and phenological stage estimations were made for 22 sample agricultural plots where DKC6980 and P0937 genotypes were planted. The results showed that the spectral library and Sentinel-2 satellite imagery were able to identify the plots planted with the two maize species with an overall accuracy of about 80% in the V10-VT stages. However, the lowest accuracy in genotype estimation was 45% for the image corresponding to the R1 stage. In contrast, the spectral library identified the genotypes cultivated in the sample plots with 68% accuracy using the PlanetScope image taken at the V10-VT phenological stage. Considering the presence of different signatures and phenological stages of 12 maize genotypes within the spectral library, it can be concluded that the library is applicable for maize genotype and stage estimation in large areas, especially in the V10-VT stages.

Keywords: Maize, spectral library, spectroradiometer, Sentinel-2, PlanetScope.

1. GİRİŞ

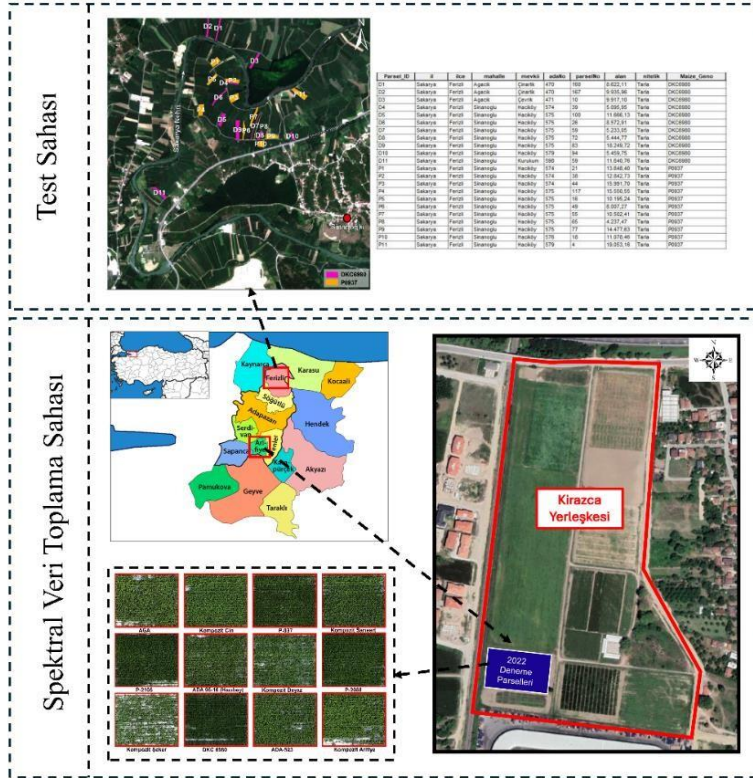
Mısır, hayvansal yem ve insan gıdası üretiminin yanı sıra diğer endüstriyel amaçlar da dahil olmak üzere tarım sektörü için dünya çapında en önemli temel ürünlerden biridir (Rouf Shah et al., 2016). Mısır bitkisinin fenolojik evrelerdeki gelişim durumunun izlenmesi ve ekili türün genotipinin tespit edilmesi, ürün sağlığının değerlendirilmesi, verimin ve sürdürülebilirliğin artırılması için yerinde zamanında müdahaleler sağlamada önemli bir role sahiptir. Literatürde bitki türlerinin ve genotiplerinin belirlenmesi amacıyla çeşitli çeşitli yaklaşımlardan birisi spektrometre ölçümleri ile spektral kütüphanelerin kurulmasıdır. Doğrudan sahadan doğrudan hassas spektral veriler elde etmesinde kullanılan spektrometreler, çeşitli bitki türlerinin tanımlanması ve ayırt edilmesi için gerekli olan spektral bilgileri sağlayarak bitki örtüsü sağlığının izlenmesi, bitki fizyolojisi ve fenolojisinin incelenmesi ve çevresel koşulların değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu cihazlarla toplanan ve çeşitli materyalleri temsil eden spektral veriler uzaktan algılama görüntülerinin yorumlanmasında referans görevi gören spektral kütüphanelerin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Spektral kütüphaneler, farklı araştırma ve uygulamalarında kullanılabilecek önemli bir envanter verisi olma özelliğine sahiptir (Kavzoglu et al., 2024). Örneğin, Viscarra Rossel et al. (2016) tarafından dünyadaki

toprak türlerinin tanımlanması için bir spektral kütüphane kurulmuş ve bu kütüphanenin toprak bileşen ve çeşitlerinin tanımlanmasında kullanılabilir çok büyük ve çeşitli bir envanter verisi olduğunu ifade edilmiştir. Ge et al. (2019) gerçekleştirdikleri çalışmada spektrometre ölçümleri ile elde edilen bilgiler mısır bitkisine ait fizyolojik ve kimyasal özelliklerinin tahmin edilmesinde kullanılmıştır. Sanjaya et al. (2022) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise pirinç yapraklarını temsil eden bir spektral kütüphane kurulmuştur. Silva et al. (2023) mısır ve sorgum bitkilerindeki yaprak besin miktarlarının kestirilmesi için farklı tekniklerle toplanan spektral bilgileri kullanmıştır. Kavzoglu et al. (2024) tarafından ise hızlı yetişen hibrit kavak ağaçlarının çeşitli tür ve farklı fenolojik evrelerini temsil eden bir spektral kütüphane kurulmuş ve bu kütüphanenin işlevselliği farklı uydu görüntüleri üzerinde test edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında farklı mısır genotiplerinin çeşitli fenolojik evrelerini temsil eden spektral kütüphanenin oluşturulması ve bu kütüphane kullanılarak geniş alanlarda ekili olan mısır parsellerin farklı mekânsal ve spektral özelliklere sahip uydu görüntülerden tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, mısır bitkisi gelişiminin 5 farklı fenolojik evresinde gerçekleştirilen saha çalışmaları ile spektrometre ölçümleri yapılmış ve 12 mısır genotipinin ortalama spektral imzalarını içeren spektral kütüphane oluşturulmuştur. Spektral kütüphane Sentinel-2 ve PlanetScope görüntüleri ile ilişkilendirilerek DKC6980 ve P0937 genotiplerinin ekili olduğu 22 örnek parsel için detaylı analizler yapılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI VE VERİSETLERİ

Türkiye’de en çok mısır ekiminin yapıldığı iller arasında yer alan Sakarya ilinin Arifiye ve Ferizli olmak üzere iki farklı ilçesi çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 1). Çalışma alanlarından ilki olan Tarım ve Orman Bakanlığı Mısır Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü’ne (MAEM) ait Kirazca yerleşkesinde 12 farklı mısır türünü temsil eden deneme parselleri kurulmuş ve bu alanda ekimi yapılan mısır bitkilerinden farklı fenolojik dönemlerde spektral bilgilerin toplanmasına yönelik saha çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Deneme parselleri yaklaşık olarak 20m×25m boyutlarında ve 500 m² olacak şekilde tasarlanmıştır. Kirazca yerleşkesinde toplanan veriler yardımıyla kurulan spektral kütüphanenin daha geniş alanlara uygulanabilirliği Ferizli İlçesi’ne bağlı Sinanoğlu Mahallesi sınırları içerisinde yer alan kadastral parseller kullanılarak test edilmiştir. 2022 Ekim takviminde belirtilen bölgede en çok ekimi yapılan türlerden DKC6980 ve P0937 genotiplerine ait kadastral parsellerin lokasyonları yerel çiftçilerden edinilen bilgiler yardımıyla tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada objektifliği sağlamak amacıyla alanları yaklaşık 4-19 dönüm arasında değişen ve her bir mısır türünden 11 adet olmak üzere toplam 22 parsel gerçekleştirilen analizlerde kullanılmak üzere seçilmiştir. Test sahasında bulunan parsellere ait kadastral bilgiler ile bu parsellerin Sentinel-2 uydu görüntüsü üzerindeki dağılımları Şekil 1’de gösterilmiştir.

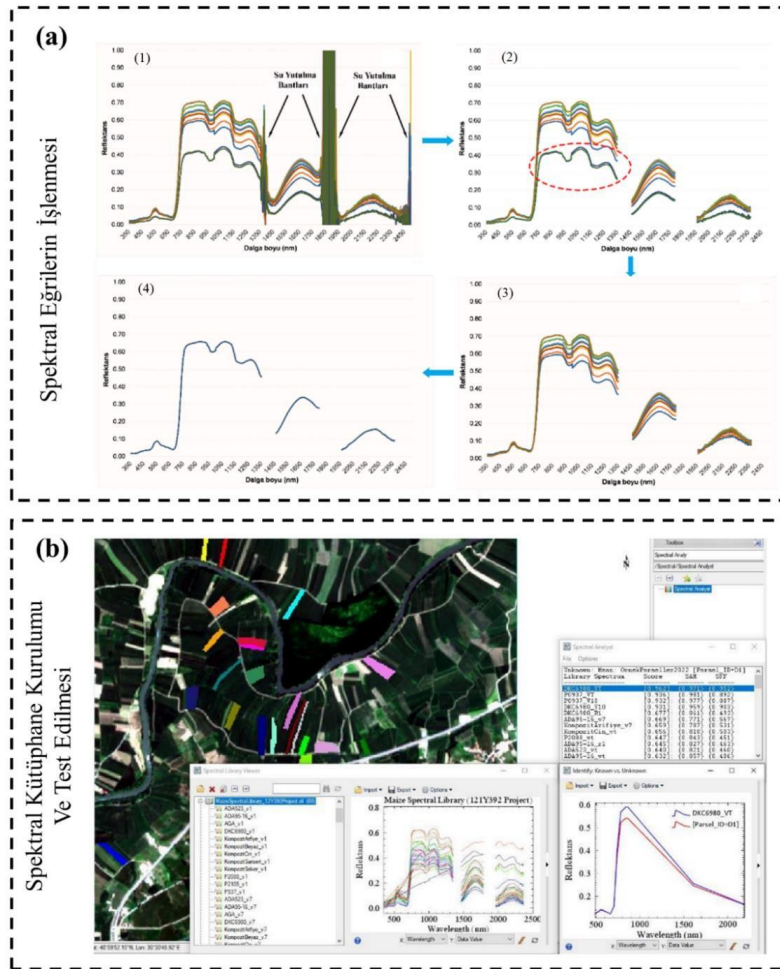


Şekil 1. Çalışma kapsamında seçilen spektral veri toplama ve test alanlarının lokasyonları.

Çalışma kapsamında oluşturulan spektral kütüphanenin geniş alanlara uygulanabilirliğinin test edilmesi amacıyla farklı mekânsal ve spektral çözünürlüklerdeki Sentinel-2 ve PlanetScope görüntüleri kullanılmıştır. Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından ücretsiz servis edilen Sentinel-2, 10m mekânsal çözünürlüğünde 4 bant (B2, B3, B4 ve B8) ve 20m mekânsal çözünürlüğünde 6 bant (B5, B6, B7, B8A, B11 ve B12) olmak üzere toplam 10 spektral bant sunmaktadır ve yeryüzünün 5 günde bir izlenmesine imkân vermektedir. Sentinel-2 uydusunun sahip olduğu üç kırmızı kenar (Red edge) bandı, iki yakın kızılötesi (NIR) bandı ve iki orta kızılötesi (SWIR) bandı bitki sağlığı, stres durumu ve büyüme süreçlerinin izlenmesinden önemli bilgiler sunmaktadır. PlanetScope görüntüleri ise Planet firması tarafından ticari olarak servis edilen görüntüler olup Planet Eğitim ve Araştırma Programı kapsamında gerçekleştirilen proje kapsamında kullanılmak üzere ücretsiz olarak temin edilmiştir. PlanetScope uydusu 3m mekânsal çözünürlüğe sahip 8 spektral bant sunan yer gözlem uydularından biridir. PlanetScope uydusu görünür bölgede 6 farklı spektral aralıkta algılama yapabiliyorken, kırmızı kenar ve yakın kızılötesi bölgelerde ise birer spektral bant sunmaktadır.

3. UYGULAMA

Çalışma kapsamında farklı mısır genotiplerinin çeşitli fenolojik evrelerini temsil eden spektral kütüphanenin kurulması ve bu kütüphanenin daha geniş alanlara uygulanabilirliğin araştırılması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda i) yersel ölçümler ile toplanan spektral eğrilerin büro ortamında işlenmesi ve ii) elde edilen eğriler yardımıyla spektral kütüphanenin oluşturularak test edilmesi olmak üzere iki temel işlem adımı takip edilmiştir (Şekil 2). Büro ortamında gerçekleştirilen ilk işlem adımında, ASD FieldSpec 3 cihazı ile tekrarlı olarak kaydedilen ham ölçülerden 1350-1460nm, 1790-1960nm ve 2365-2500nm dalga boyu aralıklarında bulunan su yutulma bantlarından meydana gelen bozucu etkiler çıkarılmıştır (Şekil 2a.1) ve Şekil 2a.2’de verilen grafik elde edilmiştir. Şekil incelendiğinde, kırmızı kesikli çizgi ile gösterilen ve mısırların rüzgâr etkisiyle sallanması, meteorolojik etkilerden kaynaklı aydınlanma şiddetindeki değişimler ve alet operatörünün hataları gibi etmenlerden dolayı meydana gelen aykırı ölçüler temizlenmiştir (Şekil 2a.3). Ön işlemler sonrasında sonuç spektral eğrilerin ortalama değerleri alınarak her bir mısır genotipinin bilinen fenolojik evredeki ortalama spektral imzası olarak kaydedilmiştir. Şekil 2a’da DKC6980 türü için örnek olarak gösterilen ortalama spektral eğrinin hesaplanmasına yönelik işlem adımları tüm mısır genotipleri için ayrı ayrı tekrar edilmiştir.



Şekil 2. Spektral kütüphane ile Sentinel-2 görüntüsünün ilişkilendirilerek genotip tahmini.

Uygulamada takip edilen ikinci işlem adımında ise elde edilen ortalama spektral eğrilerden oluşan mısır spektral kütüphanesi kurulmuş ve spektral kütüphane farklı uydu görüntüleri ile ilişkilendirilerek geniş alanlarda mısır genotipi ve fenolojik evre kestiriminde potansiyel kullanımı araştırılmıştır. Bu kapsamda, spektral kütüphanenin uydu görüntüleriyle ilişkilendirilmesi için öncelikli olarak 2022 yılında mısır bitkisinin fenolojik evrelerinden olan V10, VT, R1, R4 ve R6 dönemlerinde kaydedilen 5 Sentinel-2 görüntüsü değerlendirilmiştir (Çizelge 1). Çalışma alanında belirlenen 22 mısır parseli test veri seti olarak kullanılmış ve Sentinel-2 görüntülerinden her bir parsel içerisinde kalan piksellerinin ortalama spektral değerleri hesaplanarak bilinmeyen spektral imzalar olarak kullanılmıştır. Bu imzaların spektral kütüphanedeki hangi mısır türene karşılık geldiğinin belirlenmesi amacıyla ENVI programında "Spectral Analyst" aracı içerisinde yer alan spektral aç haritalama (SAM) ve spektral özellik uyumu (SFF) benzerlik ölçütleri kullanılmıştır. Algoritmaların tahminleri birleştirilerek tek bir nihai skor hesaplanmış ve her iki algoritmanın ağırlığı %50 olarak belirlenmiştir. Hesaplama aracı, spektrometre cihazı ile alınan spektral kütüphanedeki eğrileri Sentinel-2'nin 10 spektral bandının dalga boyu aralıklarına otomatik olarak yeniden örnekleterek bilinen ve bilinmeyen imzalar arasındaki benzerliği hesaplamaktadır. Bununla birlikte, Sentinel-2 uydu görüntüsü üzerinden gerçekleştirilen analiz sonucu en yüksek doğruluğun elde edildiği fenolojik evreye karşılık gelen PlanetScope görüntüsü karşılaştırma verisi olarak kullanılmıştır. Spektral kütüphanenin uydu görüntüleri ile ilişkilendirilmesi amacıyla takip edilen iş akış şeması Şekil 2b'de verilmiştir.

Çizelge 1. Çalışmada değerlendirilen mısır fenolojik evreleri ile bu evrelere karşılık gelen arazi çalışmaları ile Sentinel-2 görüntülerinin çekim tarihi.

Fenolojik Evre	Açıklama	Arazi Çalışması	Sentinel-2 Görüntüsü
V10	10 yapraklı büyüme aşaması	19.07.2022	23.07.2022
VT	Tepe püskülü çıkarma	26.07.2022	28.07.2022
R1	Generatif Dönem (Koçan püskülü çıkarma)	29.08.2022	01.09.2022
R4	Generatif Dönem (Hamur)	29.09.2022	26.09.2022
R6	Generatif Dönem (Fizyolojik olgunluk)	29.09.2022	01.10.2022

Mısır bitkisine özgü spektral kütüphanenin kurulması amacıyla V10, VT, R1, R2 ve R6 fenolojik büyüme evrelerinde arazi çalışmaları gerçekleştirilmiş olup bu evrelerde 12 farklı genotipe ilişkin spektral özellikler spektrometre cihazıyla toplanmıştır. Yapılan arazi çalışmalarına paralel olarak Sentinel-2 uydu görüntüleri temin edilmiş ve spektral kütüphanenin seçilen örnek parseller kullanılarak büyük alanlara uygulanabilirliği test edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda Çizelge 1'de belirtilen fenolojik evrelerde arazi çalışmaları gerçekleştirilmiş olup, bu çalışma tarih ve evrelerine karşılık gelen Sentinel-2 görüntüleri temin edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda ilk olarak spektral kütüphane ile 23.07.2022 tarihli Sentinel-2 uydu görüntüsü üzerinden 22 örnek parseli temsil eden ortalama spektral eğriler ilişkilendirilmiştir. Çizelge 2'de hesaplanan benzerlik ölçütü sonuçları ile seçilen örnek parsellerin tahmin edilen genotip ve evre etiketleri gösterilmiştir. Çizelge incelendiğinde P0937 mısır genotipi ekili olduğu bilinen 10 parsel için spektral kütüphane yardımıyla V10 fenolojik evrede olan P0937 genotipi mısır tahminlemesi yapılırken, bir parselin (Parsel ID: P10) hatalı olarak VT fenolojik dönemdeki DKC6980 türüne şeklinde tahminlendiği tespit edilmiştir. Diğer yandan, DKC6980 ekili olduğu bilinen 4 parselin (Parsel ID: D1, D7, D8 ve D10) spektral özelliklerinin V10 fenolojik dönemde olan P0937 mısır genotipine yakınsadığı görülmüştür. Genotipi doğru tahmin edilen 7 parseldeki mısır bitkisinin ise V10 ve VT dönemlerinde olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 2. 23.07.2022 tarihli Sentinel-2 görüntüsü üzerindeki örnek parsellerde ekili olan mısır genotiplerinin spektral kütüphane ile belirlenmesine ilişkin istatistiksel sonuçlar

Parsel ID	Skor	SAM	SFF	Bilinen genotip	Tahmin (genotip_evre)	Tahmin doğruluğu True/False
D1	0.962	0.990	0.933	DKC6980	P0937_V10	F
D2	0.954	0.974	0.936	DKC6980	DKC6980_VT	T
D3	0.974	0.983	0.966	DKC6980	DKC6980_V10	T
D4	0.973	0.980	0.966	DKC6980	DKC6980_V10	T
D5	0.969	0.985	0.952	DKC6980	DKC6980_V10	T
D6	0.972	0.982	0.962	DKC6980	DKC6980_VT	T
D7	0.940	0.974	0.906	DKC6980	P0937_V10	F
D8	0.926	0.978	0.873	DKC6980	P0937_V10	F
D9	0.933	0.975	0.891	DKC6980	DKC6980_V10	T
D10	0.947	0.974	0.919	DKC6980	P0937_V10	F
D11	0.950	0.980	0.920	DKC6980	DKC6980_V10	T
P1	0.950	0.972	0.929	P0937	P0937_V10	T
P2	0.974	0.985	0.964	P0937	P0937_V10	T
P3	0.982	0.983	0.982	P0937	P0937_V10	T
P4	0.958	0.989	0.927	P0937	P0937_V10	T
P5	0.964	0.982	0.946	P0937	P0937_V10	T
P6	0.978	0.993	0.963	P0937	P0937_V10	T
P7	0.971	0.988	0.955	P0937	P0937_V10	T
P8	0.963	0.977	0.887	P0937	P0937_V10	T
P9	0.899	0.934	0.865	P0937	P0937_V10	T
P10	0.959	0.977	0.941	P0937	DKC6980_VT	F

İ. Çölkesen vd.: Spektral Kütüphane ve Uydu Görüntüleri Kullanılarak Mısır Ekili Parsellerin Tespiti

P11	0.949	0.943	0.922	P0937	P0937_V10	T
-----	-------	-------	-------	-------	-----------	---

Bulgular bir arada incelendiğinde spektral kütüphanenin 22 parsel için genotip tahminlemesini %77.27 doğrulukla gerçekleştirdiği gözlemlenirken, P0937 ve DKC6980 türlerinin genotip bazındaki doğrulukları ise sırasıyla %90 ve %63'tür. Bununla birlikte spektral kütüphane fenolojik evre kestiriminde Temmuz ayı sonlarında çekilen görüntüde genelde mısır genotiplerinin V10 ve VT evrede olduğunu tespit ederek doğru tahminlemeler yapmıştır. Bölgede Mayıs-Haziran aylarında mısır ekimi yapıldığından Temmuz ayı sonlarında mısır bitkisinin V10 ve VT fenolojik evrelerde olması muhtemeldir. Bitki ekim tarihindeki farklılıkların bazı parsellerde V10 bazı parsellerde VT tahminlemesinin temel nedeni olduğu düşünülmektedir. Spektral kütüphanenin potansiyel kullanımı, fenolojik gelişimin VT evresine karşılık gelen dönemde kaydedilen 28.07.2022 tarihli Sentinel-2 görüntüsü ile ilişkilendirilerek analiz edilmiştir. Görüntü ile örnek parsellerin ilişkilendirilmesi ile her bir parselin ortalama spektral imzaları oluşturulmuş ve kütüphanenin bu parsellerin genotip ve fenolojik evre tahmin performansı incelenmiştir. Elde edilen istatistiksel sonuçların sunulduğu Çizelge 3 incelendiğinde spektral kütüphane P0937 ekili parsellerin biri haricinde (Parsel ID: P10) diğer örnek parsellerin genotiplerini doğru olarak tahmin etmiş ve bu parsellerin VT evrede olduğunu göstermiştir. DKC6980 ekili parsellere ait sonuçlar değerlendirildiğinde ise spektral kütüphane 5 parselin genotipini V10 ve VT evrelerdeki P0937 olarak etiketlediği gözlemlenmiştir. Genotipi doğru tahmin edilen 6 DKC6980 parselinin VT evrede olduğu görülebilmektedir. Bu kapsamda, spektral kütüphane VT fenolojik evreye karşılık gelen görüntü kullanarak 22 örnek parselde ekili mısır türlerinin %72.73'ünü doğru tahmin etmiştir. Genotip bazlı istatistikler incelendiğinde ise spektral kütüphanenin P0937 ve DKC6980 ekili parselleri doğru tahmin etme doğruluğu sırasıyla %90 ve %55'tir.

Çizelge 3. 28.07.2022 tarihli Sentinel-2 görüntüsü üzerindeki örnek parsellerde ekili olan mısır genotiplerinin spektral kütüphane ile belirlenmesine ilişkin istatistiksel sonuçlar.

Parsel ID	Skor	SAM	SFF	Bilinen genotip	Tahmin (genotip_evre)	Tahmin doğruluğu True/False
D1	0.962	0.971	0.952	DKC6980	DKC6980_VT	T
D2	0.968	0.982	0.949	DKC6980	P0937_VT	F
D3	0.963	0.983	0.943	DKC6980	P0937_VT	F
D4	0.956	0.970	0.942	DKC6980	DKC6980_VT	T
D5	0.961	0.988	0.935	DKC6980	DKC6980_VT	T
D6	0.974	0.984	0.965	DKC6980	DKC6980_VT	T
D7	0.957	0.976	0.939	DKC6980	P0937_V10	F
D8	0.943	0.979	0.907	DKC6980	P0937_V10	F
D9	0.939	0.978	0.899	DKC6980	DKC6980_VT	T
D10	0.971	0.997	0.952	DKC6980	DKC6980_VT	T
D11	0.946	0.975	0.917	DKC6980	P0937_V10	F
P1	0.959	0.976	0.942	P0937	P0937_VT	T
P2	0.958	0.972	0.943	P0937	P0937_VT	T
P3	0.986	0.988	0.984	P0937	P0937_VT	T
P4	0.973	0.993	0.953	P0937	P0937_VT	T
P5	0.962	0.979	0.946	P0937	P0937_VT	T
P6	0.974	0.991	0.957	P0937	P0937_VT	T
P7	0.979	0.983	0.976	P0937	P0937_VT	T
P8	0.962	0.989	0.934	P0937	P0937_VT	T
P9	0.905	0.929	0.881	P0937	P0937_VT	T
P10	0.932	0.958	0.905	P0937	DKC6980_VT	F
P11	0.951	0.976	0.926	P0937	P0937_VT	T

Çalışma kapsamında generatif dönemin başlangıcı olan R1 döneminde 29.08.2022 tarihinde yersel spektrometre ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Saha çalışmalarına en yakın tarihte kaydedilen Sentinel-2 görüntüsü 01.09.2022 tarihinde çekilmiştir. Bu görüntü üzerinden örnek parselleri temsil eden spektral eğriler elde edilmiştir. Bilinmeyen olarak etiketlenen eğrilerin spektral kütüphane ile ilişkilendirilmesi sonucunda hesaplanan istatistiksel değerler ve sonuç tahminler Çizelge 4'te verilmiştir. Çizelge analiz edildiğinde spektral kütüphanenin örnek parsellerin genotiplerini tahmin etme doğruluklarının %45'e kadar düştüğü ve hatalı tahmin sayılarının arttığı görülmektedir. Diğer bir ifade ile P0937 ekili örnek parsellerin yaklaşık %63'ü spektral kütüphane tarafından doğru olarak tahmin edilirken, DKC6980 genotipinin ekildiği parsellerin tahmin edilme doğruluğu %27 olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, bilinmeyen olarak kabul edilen spektral eğrilerin büyük bölümünün, kütüphanede bulunan R1 fenolojik evredeki spektral eğrilerle eşleştiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 4. 01.09.2022 tarihli Sentinel-2 görüntüsü üzerindeki örnek parsellerde ekili olan mısır genotiplerinin spektral kütüphane ile belirlenmesine ilişkin istatistiksel sonuçlar.

Parsel ID	Skor	SAM	SFF	Bilinen genotip	Tahmin (genotip_evre)	Tahmin doğruluğu True/False
D1	0.975	0.991	0.958	DKC6980	DKC6980_R1	T
D2	0.865	0.932	0.797	DKC6980	P0937_R1	F
D3	0.940	0.975	0.906	DKC6980	P0937_R1	F
D4	0.894	0.938	0.851	DKC6980	P0937_R1	F
D5	0.888	0.948	0.828	DKC6980	P0937_V10	F
D6	0.963	0.983	0.943	DKC6980	P0937_R1	F
D7	0.947	0.982	0.913	DKC6980	P0937_R1	F
D8	0.934	0.975	0.893	DKC6980	DKC6980_R1	T
D9	0.935	0.979	0.891	DKC6980	P0937_R1	F
D10	0.952	0.982	0.922	DKC6980	DKC6980_R1	T
D11	0.931	0.974	0.888	DKC6980	P0937_R1	F
P1	0.975	0.982	0.968	P0937	DKC6980_R1	F
P2	0.856	0.908	0.803	P0937	P0937_R1	T
P3	0.967	0.990	0.944	P0937	DKC6980_R1	F
P4	0.973	0.989	0.957	P0937	P0937_R1	T
P5	0.956	0.953	0.885	P0937	P0937_R1	T
P6	0.913	0.964	0.862	P0937	P0937_R1	T
P7	0.975	0.990	0.961	P0937	DKC6980_R1	F
P8	0.926	0.980	0.871	P0937	P0937_R1	T
P9	0.929	0.970	0.888	P0937	P0937_R1	T
P10	0.952	0.982	0.922	P0937	DKC6980_R1	F
P11	0.985	0.994	0.975	P0937	P0937_R1	T

Arazi çalışmalarının yürütüldüğü çalışma alandaki ekim takvimde R4-R6 fenolojik dönemlerdeki yersel spektrometrik ölçümler 29.09.2022 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Bu tarihe en yakın olarak 26.09.2022 ve 01.10.2022 tarihlerinde kaydedilen Sentinel-2 görüntüleri spektral kütüphanenin test edilmesi amacıyla temin edilmiştir. 26.09.2022 tarihli görüntüye ait sonuçların gösterildiği Çizelge 5 incelendiğinde, spektral kütüphanenin diğer görüntülerden farklı olarak DKC6980 genotipi ekili parselleri tahmin etme doğruluğunun %82 seviyelerine çıktığı belirlenmiştir. İki parsel ise (Parsel ID: D3 ve D11) P0937 olarak hatalı tahmin edilmesine rağmen bütün parsellerin fenolojik evreleri R4 olarak tespit edilmiştir. Diğer yandan, P0937 ekili parsellerin yarısından fazlasının R4 fenolojik evredeki DKC6980 türü olarak etiketlendiği ve doğruluğun yaklaşık %45 olduğu gözlemlenmiştir. Kütüphanenin 22 örnek parseli tahmin etme doğruluğu ise %64'tür.

Çizelge 5. 26.09.2022 tarihli Sentinel-2 görüntüsü üzerindeki örnek parsellerde ekili olan mısır genotiplerinin spektral kütüphane ile belirlenmesine ilişkin istatistiksel sonuçlar.

Parsel ID	Skor	SAM	SFF	Bilinen genotip	Tahmin (genotip_evre)	Tahmin doğruluğu True/False
D1	0.925	0.916	0.933	DKC6980	DKC6980_R4	T
D2	0.978	0.977	0.979	DKC6980	DKC6980_R4	T
D3	0.975	0.980	0.971	DKC6980	P0937_R4	F
D4	0.979	0.979	0.979	DKC6980	DKC6980_R4	T
D5	0.982	0.948	0.987	DKC6980	DKC6980_R4	T
D6	0.986	0.993	0.979	DKC6980	DKC6980_R4	T
D7	0.964	0.969	0.960	DKC6980	DKC6980_R4	T
D8	0.943	0.940	0.947	DKC6980	DKC6980_R4	T
D9	0.971	0.979	0.963	DKC6980	DKC6980_R4	T
D10	0.975	0.984	0.965	DKC6980	DKC6980_R4	T
D11	0.962	0.971	0.953	DKC6980	P0937_R4	F
P1	0.941	0.929	0.953	P0937	DKC6980_R4	F
P2	0.978	0.986	0.969	P0937	DKC6980_R4	F
P3	0.967	0.979	0.954	P0937	DKC6980_R4	F
P4	0.985	0.992	0.978	P0937	P0937_R4	T
P5	0.985	0.978	0.992	P0937	DKC6980_R4	F
P6	0.985	0.985	0.986	P0937	P0937_R4	T
P7	0.959	0.956	0.963	P0937	DKC6980_R4	F
P8	0.982	0.988	0.975	P0937	P0937_R4	T
P9	0.978	0.982	0.973	P0937	P0937_R4	T
P10	0.975	0.984	0.971	P0937	DKC6980_R4	F
P11	0.987	0.990	0.985	P0937	P0937_R4	T

İ. Çölkesen vd.: Spektral Kütüphane ve Uydu Görüntüleri Kullanılarak Mısır Ekili Parsellerin Tespiti

Çizelge 6'da 01.10.2022 tarihinde kaydedilen Sentinel-2 görüntüsü kullanılarak spektral kütüphaneye ilişkin tahmin sonuçları verilmiştir. Çizelge değerlendirildiğinde, DKC6980 ekili parsellerin genotip tahmin doğruluğunun bir önceki dönem ile benzer bir şekilde %82 olarak tespit edilirken, P0937 ekili parseller için doğruluk değeri %45 olarak hesaplanmıştır. Genotipi doğru tahmin edilen mısır parsellerinin fenolojik evreleri incelendiğinde ise bu türlerin R4 ve R6 evrelerde olduğu belirlenmiştir. Ek olarak, 01.10.2022 tarihli görüntü kullanılarak spektral kütüphanenin 22 parselin genotipini tahmin etmede %64 genel doğruluğa sahip bir performans göstermiştir.

Çizelge 6. 01.10.2022 tarihli Sentinel-2 görüntüsü üzerindeki örnek parsellerde ekili olan mısır genotiplerinin spektral kütüphane ile belirlenmesine ilişkin istatistiksel sonuçlar.

Parsel ID	Skor	SAM	SFF	Bilinen genotip	Tahmin (genotip_evre)	Tahmin doğruluğu True/False
D1	0.946	0.982	0.910	DKC6980	DKC6980_R4	T
D2	0.985	0.956	0.916	DKC6980	DKC6980_R6	T
D3	0.970	0.986	0.954	DKC6980	DKC6980_R6	T
D4	0.975	0.973	0.977	DKC6980	DKC6980_R4	T
D5	0.983	0.983	0.982	DKC6980	P0937_R6	F
D6	0.988	0.992	0.983	DKC6980	DKC6980_R6	T
D7	0.953	0.974	0.932	DKC6980	DKC6980_R4	T
D8	0.961	0.957	0.966	DKC6980	DKC6980_R6	T
D9	0.977	0.971	0.982	DKC6980	DKC6980_R6	T
D10	0.872	0.848	0.896	DKC6980	DKC6980_R4	T
D11	0.969	0.983	0.955	DKC6980	P0937_R6	F
P1	0.968	0.956	0.979	P0937	DKC6980_R6	F
P2	0.981	0.991	0.971	P0937	DKC6980_R6	F
P3	0.985	0.993	0.978	P0937	DKC6980_R6	F
P4	0.987	0.990	0.984	P0937	P0937_R6	T
P5	0.967	0.983	0.951	P0937	P0937_R6	T
P6	0.978	0.969	0.986	P0937	DKC6980_R6	F
P7	0.959	0.962	0.956	P0937	DKC6980_R6	F
P8	0.972	0.985	0.960	P0937	P0937_R6	T
P9	0.940	0.932	0.947	P0937	P0937_R6	T
P10	0.986	0.991	0.980	P0937	DKC6980_R6	F
P11	0.982	0.990	0.975	P0937	P0937_R6	T

Spektral kütüphanenin farklı uydu görüntüleri üzerindeki geçerliliğinin test edilmesi amacıyla PlanetScope görüntüsünde değerlendirmeye alınmıştır. Bunun için, Sentinel-2 görüntüleri ile yapılan analizler sonucu en yüksek tahmin doğruluğunun elde edildiği 23.07.2022 tarihli görüntü ile aynı gün kaydedilen 8 bantlı PlanetScope görüntüsü kullanılmıştır. Spektral kütüphanenin PlanetScope görüntüsü kullanılarak 22 örnek parsel ilişkilendirilmesinde Sentinel-2'de takip edilen işlem adımları birebir uygulanmıştır. Bilinmeyen olarak etiketlenen spektral eğriler ile spektral kütüphanenin ilişkilendirilmesi neticesinde hesaplanan istatistik değerler ve örnek parsellerin genotip tahmin sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7. 23.07.2022 tarihli PlanetScope görüntüsü üzerindeki örnek parsellerde ekili olan mısır genotiplerinin spektral kütüphane ile belirlenmesine ilişkin istatistiksel sonuçlar.

Parsel ID	Skor	SAM	SFF	Bilinen genotip	Tahmin (genotip_evre)	Tahmin doğruluğu True/False
D1	0.746	0.930	0.562	DKC6980	DKC6980_VT	T
D2	0.757	0.927	0.525	DKC6980	DKC6980_VT	T
D3	0.742	0.932	0.553	DKC6980	DKC6980_VT	T
D4	0.737	0.933	0.541	DKC6980	DKC6980_VT	T
D5	0.747	0.932	0.563	DKC6980	DKC6980_VT	T
D6	0.728	0.931	0.526	DKC6980	DKC6980_VT	T
D7	0.763	0.927	0.600	DKC6980	DKC6980_VT	T
D8	0.783	0.920	0.645	DKC6980	P0937_V10	F
D9	0.761	0.933	0.589	DKC6980	DKC6980_VT	T
D10	0.760	0.930	0.590	DKC6980	DKC6980_VT	T
D11	0.770	0.931	0.610	DKC6980	DKC6980_VT	T
P1	0.805	0.917	0.694	P0937	P0937_V10	T
P2	0.785	0.919	0.652	P0937	P0937_V10	T
P3	0.792	0.921	0.664	P0937	DKC6980_VT	F
P4	0.775	0.925	0.624	P0937	DKC6980_VT	F
P5	0.773	0.924	0.621	P0937	DKC6980_VT	F
P6	0.779	0.923	0.583	P0937	DKC6980_VT	F
P7	0.763	0.925	0.600	P0937	P0937_V10	T
P8	0.782	0.923	0.641	P0937	DKC6980_VT	F

İ. Cölkesen vd.: Spektral Kütüphane ve Uydu Görüntüleri Kullanılarak Mısır Ekili Parsellerin Tespiti

P9	0.805	0.905	0.705	P0937	P0937_V10	T
P10	0.750	0.929	0.571	P0937	DKC6980_VT	F
P11	0.816	0.909	0.723	P0937	P0937_V10	T

Çizelge incelendiğinde, DKC6980 ekili parsellerden 10 tanesinin doğru olarak tespit edildiği görülmektedir (%90 doğruluk), sadece bir parselin P0937 olarak etiketlendiği tespit edilmiştir. Diğer yandan, P0937 ekili parseller için yapılan tahminlemeler neticesinde 5 parselin genotipinin doğru tahmin edildiği (%45 doğruluk), kalan parsellerin ise DKC6980 türü olarak etiketlendiği gözlemlenmiştir. Genotip değeri doğru tahmin edilen parsellerin ise V10 ve VT fenolojik evrelerde olduğu belirlenmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında farklı mısır genotiplerinin çeşitli fenolojik evrelerinde gerçekleştirilen saha çalışmaları ile oluşturulan spektral kütüphanenin geniş alanlarda potansiyel kullanımı ve uygulanması farklı spektral ve mekânsal özelliğe sahip uydu görüntüleri (Sentinel-2 ve PlanetScope) kullanılarak test edilmiştir. Bu amaç doğrultusunda test alanında çiftçilerle görüşmeler neticesinde tespit edilen 22 mısır ekili kadastral parsel test verisi olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, spektral kütüphanenin Sentinel-2 görüntüsü üzerinde DKC6980 ve P0937 genotiplerinin ekili olduğu test parsellerini V10 ve VT evrelerinde yaklaşık %80 genel doğrulukta tahmin ettiğini göstermektedir. R1 evrede alınan Sentinel-2 görüntüsü kullanılarak gerçekleştirilen genotip tahminlemesi sonuçlarına göre spektral kütüphane %45 genel doğruluğa ulaşırken, bu değer R4-R6 evrelerine karşılık gelen Sentinel-2 görüntüleri için ise yaklaşık %64 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçların temel nedeni, generatif dönem içerisinde değerlendirmeye alınan test genotiplerinin Sentinel-2 görüntülerinin 10 spektral bandı dikkate alındığında spektral olarak birbirlerine benzeridir. Bunun bir sonucu olarak, DKC6980 genotipi ekili olan parsellerin bir kısmı spektral kütüphane tarafından P0937 olarak tahmin edilmiştir. Sentinel-2 ile en yüksek doğruluk değerinin elde edildiği V10 evrede kaydedilen PlanetScope görüntüsü ile genotip tahmin işlemi yaklaşık %68 doğruluk ile sonuçlanmıştır. Spektral kütüphane ile Sentinel-2 görüntüsü kullanılarak gerçekleştirilen tahmin işlemine kıyasla önemli derecede daha düşük tahmin doğruluğunun elde edilmesinin nedeninin mekânsal çözünürlüğü 3m olan PlanetScope görüntülerinin sahip olduğu 8 spektral bandın ilk 6'sının genotipler arası spektral benzerliğin yüksek olduğu görünür dalga boyu bölgesinde görüntü alması olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte Sentinel-2 görüntülerinde sahip olunan kırmızı-kenar ve SWIR bantlarındaki spektral bilgilerin kullanılamaması da tahmin doğruluğunun düşmesinde etkili olduğu düşünülmektedir. Son olarak, spektral kütüphane içerisinde 12 genotipe ilişkin farklı fenolojik dönemlere ait imzalar olduğu göz önüne alındığında, ilişkilendirme sonucu örnek parsellerde kütüphanenin özellikle V10-VT fenolojik evrelerde tür ve evre kestirimi için geniş alanlarda uygulanma potansiyelinin yüksek olduğu ifade edilebilir.

TEŞEKKÜRLER

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 121Y392 no'lu proje kapsamında desteklenmiştir. Projeye değerli katkılarından dolayı T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Mısır Araştırma Enstitüsü'ne özel teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

Ge, Y., Atefi, A., Zhang, H., Miao, C., Ramamurthy, R. K., Sigmon, B., ... Schnable, J. C., (2019). High-throughput analysis of leaf physiological and chemical traits with VIS–NIR–SWIR spectroscopy: a case study with a maize diversity panel. *Plant Methods*, 15(1), 66. <https://doi.org/10.1186/s13007-019-0450-8>.

Kavzoglu, T., Colkesen, I., Atesoglu, A., Tonbul, H., Yilmaz, E. O., Ozlusoylu, S. ve Ozturk, M. Y., (2024). Construction and implementation of a poplar spectral library based on phenological stages for land cover classification using high-resolution satellite images. *International Journal of Remote Sensing*, 45(6), 2049–2072. <https://doi.org/10.1080/01431161.2024.2326800>.

Rouf Shah, T., Prasad, K. ve Kumar, P., (2016). Maize —A potential source of human nutrition and health: A review. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1166995>.

Sanjaya, H., Sukotjo, B. M., Jaelani, L. M., Agustan, Ashar, B. L., Sumargana, L., ... Nuzulullia, U., (2022). Utilizing a Spectroradiometer to Build a Spectral-Library of Rice Leaves. *2022 IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology (AGERS)*, 119–122. IEEE. <https://doi.org/10.1109/AGERS56232.2022.10093263>.

Silva, F. H. C. A., Wijewardane, N. K., Bheemanahalli, R., Raja Reddy, K., Zhang, X. ve Vennam, R. R., (2023). Comparison of UV, visible and near-infrared, and mid-infrared spectrometers to estimate maize and sorghum leaf nutrients using dry-intact and ground leaves. *Computers and Electronics in Agriculture*, 211, 108001. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108001>.

Viscarra Rossel, R. A., Behrens, T., Ben-Dor, E., Brown, D. J., Demattê, J. A. M., Shepherd, K. D., ... Ji, W., (2016). A global spectral library to characterize the world's soil. *Earth-Science Reviews*, 155, 198–230. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.01.012>