T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ

# BAZI ŞEKER SORGUM VE SORGUM SUDAN OTU MELEZİ ÇEŞİTLERİNDE FARKLI FENOLOJİK DÖNEMLERİNDE YAPILAN HASAT UYGULAMALARININ OT VERİMLERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN SPEKTRORADYOMETRİK ÖLÇÜMLER İLE BELİRLENMESİ

**Proje No**: FBA-2020-3209

Bağımsız Araştırma Projesi

## SONUÇ RAPORU

**Proje Yürütücüsü:**
Dr. Öğr. Üyesi Fırat ALATÜRK
Ziraat Fakültesi/Tarla Bitkileri Bölümü

Araştırmacı
Prof. Dr. Ahmet GÖKKUŞ
Ziraat Fakültesi/Tarla Bitkileri Bölümü

Araştırmacı
Prof. Dr. Kürşad DEMİREL
Mimarlık ve Tasarım Fakültesi/Peyzaj Mimarlığı Bölümü

Araştırmacı
Doç. Dr. Önder GÜRSOY
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi/Harita Mühendisliği Bölümü

Araştırmacı
Doç. Dr. Emre ÖZELKAN

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesinde maddi olarak destekleyen Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığına teşekkürlerimizi sunarız. Projenin yürütülmesi esnasında Ziraat Fakültesinin imkânlarının kullanılmasında bizlere destek olan Dekanlığımıza, çalışmanın her aşamasında fedakârca emeklerini esirgemeden yardım eden bütün lisans ve yüksek lisans öğrencilerimize teşekkür ederiz.

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

**Tablolar** .....
**Şekiller** .....
**ÖZET** .....
**ABSTRACT** .....
**GİRİŞ** .....
**MATERYAL VE YÖNTEM** .....
**İncelenen Özellikler** .....
**1. Yeşil ot verimleri (kg/da)** .....
**2. Kuru ot verimleri (kg/da)** .....
**3. Toprak Üstü Kuru Madde Oranları (%)** .....
**4. Yaş Kök Verimi (g/bitki)** .....
**5. Kuru Kök Verimi (g/bitki)** .....
**6. Toprak Altı Kök Kuru Madde Oranları (%)** .....
**7. Hiperspektral Ölçümler** .....
**8. Sonuçların Değerlendirilmesi** .....
**BULGULAR** .....
**1. Yeşil Ot Verimleri (kg/da)** .....
**2. Kuru Ot Verimleri (kg/da)** .....
**3. Toprak Üstü Kuru Madde Oranları (%)** .....
**4. Yaş Kök Verimi (g/bitki)** .....
**5. Kuru Kök Verimi (g/bitki)** .....
**6. Kök Kuru Madde Oranı (%)** .....
**7. Hiperspektral ölçümler** .....
**7.1. Yeşil ot verimleri** .....
**7.2. Kuru ot verimleri** .....
**7.3. Toprak Üstü Kuru Madde Oranları (%)** .....
**7.4. Yaş Kök Verimi (g/bitki)** .....
**7.5. Kuru Kök Verimi (g/bitki)** .....
**7.6. Toprak Altı Kök Kuru Madde Oranları (%)** .....
**TARTIŞMA VE SONUÇ** .....
**KAYNAKLAR** .....

## Tablolar

Tablo 1. Araştırmada kullanılan tür ve çeşitler ile bunların özellikleri ..... 15
Tablo 2. Deneme alanına ait toprak özellikleri ..... 16
Tablo 3. Araştırmada kullanılan hiperspektral indisler ve formülleri (Giovos ve ark., 2021). 18
Tablo 4. Farklı biçim uygulamalarına bağlı olarak sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin yeşil ot verimlerine ait varyans analiz değerleri ..... 21
Tablo 5. Farklı biçim uygulamalarına bağlı olarak sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin iki yıllık (2019-2020) ortalama yeşil ot verimleri (kg/da) ..... 21
Tablo 6. Farklı biçim uygulamalarına bağlı olarak sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin kuru ot verimlerine ait varyans analiz değerleri ..... 24
Tablo 7. Farklı biçim uygulamalarına bağlı olarak sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin iki yıllık (2019-2020) ortalama kuru ot verimleri (kg/da) ..... 24
Tablo 8. Farklı biçim uygulamalarına bağlı olarak sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin kuru madde oranlarına ait varyans analiz değerleri ..... 26
Tablo 9. Farklı biçim uygulamalarına bağlı olarak sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin iki yıllık (2019-2020) ortalama kuru madde oranları (%) ..... 26
Tablo 10. Farklı biçim uygulamalarına bağlı olarak sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin yaş kök verimlerine ait varyans analiz değerleri ..... 28
Tablo 11. Farklı biçim uygulamalarına bağlı olarak sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin iki yıllık (2019-2020) ortalama yaş kök verimleri (g/bitki) ..... 28
Tablo 12. Farklı biçim uygulamalarına bağlı olarak sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin kuru kök verimlerine ait varyans analiz değerleri ..... 30
Tablo 13. Farklı biçim uygulamalarına bağlı olarak sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin iki yıllık (2019-2020) ortalama kuru kök verimleri (g/bitki) ..... 30
Tablo 14. Farklı biçim uygulamalarına bağlı olarak sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin kök kuru madde oranlarına ait varyans analiz değerleri ..... 32
Tablo 15. Farklı biçim uygulamalarına bağlı olarak sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin iki yıllık (2019-2020) ortalama kök kuru madde oranları (%) ..... 32

## Şekiller

Şekil 1. Farklı yıllara göre sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin yeşil ot verimleri. ..... 19
Şekil 2. Faklı yıllara göre sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin kuru ot verimleri. ..... 23
Şekil 3. Faklı yıllara göre sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin toprak üstü kuru madde oranları. ..... 25
Şekil 4. Faklı yıllara göre sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin yaş kök verimleri. ..... 27
Şekil 5. Faklı yıllara göre sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin kuru kök verimleri. ..... 29
Şekil 6. Faklı yıllara göre sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin kök kuru madde oranları. 31
Şekil 7. 2019-2020 yılı Nutri Honey çeşidi yeşil ot verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$). ..... 33
Şekil 8. 2019-2020 yılı Nutrima çeşidi yeşil ot verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$). ..... 34
Şekil 9. 2019-2020 yılı M81-E çeşidi yeşil ot verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$). ..... 34
Şekil 10. 2019-2020 yılı Topper-76 çeşidi yeşil ot verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$). ..... 35
Şekil 11. 2019-2020 yılı Nutri Honey çeşidi kuru ot verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$). ..... 36
Şekil 12. 2019-2020 yılı Nutrima çeşidi kuru ot verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$). ..... 37
Şekil 13. 2019-2020 yılı M81-E çeşidi kuru ot verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$). ..... 37
Şekil 14. 2019-2020 yılı Topper-76 çeşidi kuru ot verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$). ..... 38
Şekil 15. 2019-2020 yılı Nutri Honey çeşidi toprak üstü kuru madde oranı ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$). ..... 39
Şekil 16. 2019-2020 yılı Nutrima çeşidi toprak üstü kuru madde oranı ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$). ..... 39
Şekil 17. 2019-2020 yılı M81-E çeşidi toprak üstü kuru madde oranı ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$). ..... 40
Şekil 18. 2019-2020 yılı Topper-76 çeşidi toprak üstü kuru madde oranı ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$). ..... 41
Şekil 19. 2019-2020 yılı Nutri Honey çeşidi yaş kök verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$). ..... 42
Şekil 20. 2019-2020 yılı Nutrima çeşidi yaş kök verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$). ..... 42

Şekil 21. 2019-2020 yılı M81-E çeşidi yaş kök verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$). ..... 43
Şekil 22. 2019-2020 yılı Topper-76 çeşidi yaş kök verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$). ..... 43
Şekil 23. 2019-2020 yılı Nutri Honey çeşidi kuru kök verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$). ..... 44
Şekil 24. 2019-2020 yılı Nutrima çeşidi kuru kök verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$). ..... 45
Şekil 25. 2019-2020 yılı M81-E çeşidi kuru kök verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$). ..... 45
Şekil 26. 2019-2020 yılı Topper-76 çeşidi kuru kök verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$). ..... 46
Şekil 27. 2019-2020 yılı Nutri Honey çeşidi kök kuru madde oranı ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$). ..... 47
Şekil 28. 2019-2020 yılı Nutrima çeşidi kök kuru madde oranı ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$). ..... 47
Şekil 29. 2019-2020 yılı M81-E çeşidi kök kuru madde oranı ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$). ..... 48
Şekil 30. 2019-2020 yılı Topper-76 çeşidi kök kuru madde oranı ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$). ..... 49

## ÖZET

Bu çalışma, bazı şeker sorgumu (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) ve sorgum × sudanotu melez (*Sorghum bicolor* × *Sorghum sudanense*) çeşitlerinin farklı fenolojik dönemlerde (30, 60, 90, 120, 150 cm ve fizyolojik olum) biçimlenmesinin ot verimi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. 2019 ve 2020 yıllarında Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme alanında yürütülen tarla denemelerinde Topper-76, M81-E (şeker sorgumu), Sweet Sioux ve Grazer (melez çeşit) olmak üzere toplam 4 çeşit değerlendirilmiştir. Araştırmada ot verimleri, kök verimleri ile toprak üstü ve toprak altı kuru madde oranları gibi verim bileşenleri incelenmiş; ayrıca 350–2500 nm dalga boyu aralığında toplanan spektral verilerden 13 farklı bitki indeksi hesaplanarak verim tahminleri yapılmıştır. Yürütülen bu araştırmanın sonuçlarına göre en yüksek yeşil ot verimi 10.717,6 kg/da ile M81-E çeşidinin fizyolojik olumdaki hasadında, en yüksek kuru ot verimleri ise 4.071,1 kg/da ise yine aynı çeşidin aynı hasat döneminde elde edilmiştir. Bitki başına en yüksek yaş kök verimi 77,82 g/bitki ile Topper-76 çeşidi ile 68,19 ile M81-E çeşitlerinin fizyolojik olum dönemlerinde elde edilen hasatlarında alınmıştır. En yüksek kuru kök verimleri ise 31,86 g/bitki ile M81-E ve 31,66 g/bitki ile Topper-76 çeşitlerinin fizyolojik dönemdeki hasatlarında belirlenmiştir. Bununla beraber hiperspektral ölçümler ile oluşturulan bitki indekslerinden NDVI, VARI ve PRI gibi göstergeler, özellikle kuru ot verimi ile yüksek korelasyon göstermiştir ($r^2 > 0.80$). Çalışmanın bulguları, ot veriminin fenolojik döneme ve biçim yüksekliğine duyarlı olduğunu ve hiperspektral verilerle hassas tahminlerin mümkün olduğunu ortaya koymaktadır. Bu yönüyle çalışma, yem bitkileri üretiminde uzaktan algılama tekniklerinin uygulanabilirliğini göstermesi açısından önemli katkılar sunmaktadır.



**Anahtar Kelimeler**: Şeker sorgumu, Sorgum x Sudanotu, Ot Verimi, Biçim Zamanı, Spektroradyometri, NDVI, Uzaktan Algılama.


.

## ABSTRACT

This study was conducted to determine the effects of harvesting (30, 60, 90, 120, 150 cm, and physiological maturity) on forage yield of some sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) and sorghum × sudangrass hybrid (*Sorghum bicolor* × *Sorghum sudanense*) varieties at different phenological stages. A total of four varieties, including Topper-76 and M81-E (sweet sorghum), and Sweet Sioux and Grazer (hybrid cultivars), were evaluated in field experiments conducted at the research area of the Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Agriculture in the growing seasons of 2019 and 2020. Yield components such as the yields of forage and root along with the upper and sub soil dry matter ratios were examined in this study. Additionally, yield estimates have been done by calculating 13 different plant indices from spectral data collected in the 350–2500 nm wavelength range. According to the results of the study, the highest green forage yield was recorded as 10,717.6 kg/da in M81-E cultivar harvested at the physiological maturity stage, while the highest dry forage yield was obtained as 4,071.1 kg/da from the same cultivar at the same harvesting stage. The highest fresh root yield per plant was obtained from Topper-76 as 77.82 g/plant and 68.19 g/plant from M81-E when harvested at physiological maturity stages. The highest dry root yields were determined as 31.86 g/plant and 31.66 g/plant for M81-E and Topper-76 varieties, respectively, harvested at the physiological stages. Moreover, plant indices such as NDVI, VARI, and PRI derived from hyperspectral measurements showed high correlation with dry forage yield ($r^2 > 0.80$). The findings of the research reveal that forage yield is sensitive to the phenological stage and harvesting height, whereas accurate yield estimations can be achieved through hyperspectral data. In this respect, the study provides significant contributions to the application potential of remote sensing techniques in forage crop production.



**Keywords**: Sweet Sorghum, Sorghum x Sudangrass, Forage Yield, Harvesting Time, Spectroradiometry, NDVI, Remote Sensing.

# GİRİŞ

Türkiye'de hayvancılık sektörü hızla değişmekte, et, süt ve süt ürünleri üretiminde büyükbaş hayvan yetiştiriciliği öne çıkmaktadır. Artan hayvan sayısı tarla ziraatı içinde daha fazla yem bitkileri yetiştiriciliğini zorunlu kılmaktadır. Gıda üretimi ile rekabete girmeden daha geniş alanlarda yem bitkileri yetiştiriciliği ile artan kaba yem ihtiyacının karşılanması gerekmektedir. Diğer yandan kısıtlı kaynakların daha etkin kullanılması ve kaliteli kaba yemin daha ucuza elde edilmesi zorunluluğu vardır. Sorgum x sudanotu melez (SSM) çeşitleri hızlı büyüme ve biçildikten sonra yeniden gelişme yetenekleriyle, hayvan beslemede önemli rol oynamaktadır. Yeşil ot, kuru ot, silaj ve paket ot (haylaj) olarak değerlendirildiği gibi, otlatma amacıyla da kullanılmaktadır. Sorgum çeşitleri birim alanda üretmiş olduğu organik madde miktarı açısından oldukça yüksek seviyelerdedir. Bunun yanında yaz döneminde hem otlatılarak hem de biçilerek değerlendirilmektedir. Dolayısıyla bitkinin yaşam döngüsü içerisinde yapılacak olan hasat veya otlatma uygulamaları genel itibariyle bitki bünyesinde bulunan besin madde içeriklerine göre belirlenmesi bu bitkiden daha ekonomik şekilde faydalanılmasını sağlar. Bu amaçla araştırmada ele alınan sorgum çeşitleri farklı dönemlerinde hasat edilerek bu dönemlere ait toprak üstü ve toprak altı biomas miktarları belirlenmiştir. Daha sonra yine bu dönemlerde alınan olan spektral ölçümlerle bitkisel özellikler analiz edilmiştir. Bu çalışma ile sonraki yıllarda bu bitki ile yapılacak olan çalışmalarda ciddi anlamda hem işgücü hem de ekonomik olarak kazanç sağlanması hedeflenmektedir.

Şeker sorgum artan fosil yakıt tüketimi ve küresel ısınmanın önüne geçilmesinde enerji bitkisi olarak önem arz etmektedir. Türkiye'nin enerjide dışa bağımlı oluşu ve dış ticaret açığının çoğunluğunu enerji ithalatının oluşturması, şeker sorgumun önemini daha da artırmaktadır. Kurağa dayanıklı oluşu ve kısıtlı su kaynaklarında yüksek verim gücü, Türkiye'de enerji tarımı yanında, ot ve silaj üretimi için önemli seçeneklerden biri olduğunu göstermektedir (Yücel ve ark., 2017). SSM çeşitleri son yıllarda artan bir şekilde yeşil ot, kuru ot, silaj ve otlatma amacıyla kullanılmaktadır (Genç ve Baytekin, 2015). Genellikle en az 50-60 cm veya daha fazla boylandığında hasat edilmesi veya otlatılması ön görülmektedir (Uzun ve Çiğdem, 2005). Bununla birlikte, otlatma uygulamalarında yeniden gelişme yetenekleri nedeniyle genç sürgünleri otlayan hayvanlarda şişme ve bazen zehirlenme sorunları ortaya çıkabilmektedir. SSM tarla ziraatı içerisinde hem yazlık ana ürün hem de

ikinci ürün tarımında öncelikli olarak kullanılmaktadır. Küçük ve orta büyüklükteki aile işletmelerinde yaz boyunca yeşil ot ihtiyacının karşılanmasında kullanılan bu çeşitler, son yıllarda ticari olarak kaba yem üretimi amacıyla da yetiştirilmektedir. Yazlık ana ürün yetiştirme şartlarında 4-5, ikinci ürün yetiştirme şartlarında 2-3 biçimle dekara 10-15 ton arasında yeşil ot verebilen sorgum x sudanotu melezinde (İptaş ve ark., 2001; Salman ve Budak, 2015), yeşil ve kuru ot ile otlatma için uygun hasat zamanlarının belirlenmesi, bu ürünlerden daha etkin yararlanma açısından önem arz etmektedir. Kullanım amacına bağlı olarak hasat zamanlarının belirlenmesine yönelik araştırmalar, özellikle otlatma yönetimine temel teşkil edecek çalışmalar son derece kısıtlıdır. Bu proje ile hemen hemen bütün kullanım amaçlarına yönelik olarak uygun biçim ve otlatma uygulamaları ortaya konmuştur.

Spektroskopi bir örnekteki atom, molekül veya iyonların bir enerji düzeyinden diğerine geçişleri sırasında absorplanan veya yayılan elektromanyetik ışımanın ölçülmesi ve yorumlanması olarak tanımlanmaktadır. Fotometrik uygulamalarla bitkilerin gelişme seyrine bağlı olarak fizyolojik özellikleri, besin elementi kullanımı ve eksikliğine dayalı görüntüleri kaydedilerek, yetiştiricilik uygulamaları için bazı pratikler elde etmek mümkün olmaktadır. Yersel spektral ölçümler mutlaka modellenmesi hedeflenen parametrenin klasik yöntemlerle elde edilmiş sonuçları ile ilişkilendirilmeli ve doğrulanmalıdır. Ayrıca, yersel spektral ölçümlerle oluşturulan modeller havadan ve uydudan elde edilen uzaktan algılama görüntüleri ile geniş alanlarda uygulanabilir. Fenolojik gelişimin modellenmesi ve bitkide meydana gelebilecek olumlu/olumsuz gelişmelerin belirlenmesi uzaktan algılama yöntemleri ile mümkündür. Bitkinin içerdiği mineral madde miktarı, yaprak su içeriği, fotosentetik pigment miktarı gibi fizyolojik özellikleri yaprak ve taç alanı ile canlı kütle gibi morfolojik özellikleri elektromanyetik spektrum üzerinde bitkinin yaptığı yansıtımı doğrudan etkilemektedir. Bitkinin değişen özelliklerine göre elektromanyetik spektrumda verdiği farklı davranışlar araştırmacıları bitki indislerini üretmeye yöneltmiştir. Bu doğrultuda bitkinin fotosentez hızından yaprak su potansiyeline kadar gelişimini etkileyen parametreler için Structure Intensive Pigment Index (SIPI) Photochemical Reflectance Index (PRI) (Penuelas ve ark., 1997), normalize fark su indisi (NDWI) (Gao, 1996), normalize edilmiş fark bitki örtüsü indisi (NDVI) (Tucker, 1980) gibi birçok indis geliştirilmiştir. Bu indislerin tamamı bitkinin hayat döngüsündeki içeriklerinin veya mevcut durumunun ortaya konulması amacıyla yürütülmektedir..

Özellikle sorgum bitkisi ile yapılmış olan spektroradyometrik bir çalışma söz konusu değildir. Çalışmamıza yakın nitelikte olabilecek ancak farklı bitkiler ile gerçekleşen

çalışmalar aşağıdaki gibidir. Yersel hiperspektral uzaktan algılama yöntemleri; biber ve patlıcanda (Demirel ve ark., 2014a), buğdayda (Ferrio ve ark., 2005) ve mısırda (Çamoğlu ve ark., 2018) verim tahmini için, roka bitkisinde (Demirel ve ark., 2014b), taze fasulyede (Köksal ve ark., 2010) yaprak su potansiyelini belirlenmesinde, asma bitkisinde fotosentez oranı (Özelkan ve ark., 2015), farklı fosfor uygulamalarındaki ekili şeker kamışı alanlarının (Gürsoy ve Atun, 2019) ve kekik alanlarının (İnce ve ark., 2014) belirlenmesi gibi birçok çalışmada kullanılmıştır. Sudan otu ile ilgili; farklı toprak bünyesi uygulamalarında hiperspektral veriler kullanılarak kanopi yansıtımı ile bitki büyüme durumu arasındaki ilişki incelemişlerdir (Zhong ve ark., 2019). Spektroradyometrik ölçümler ile üretilen hiperspektral veri analizleriyle sulanan ve sulanmayan sudan otu alanları incelenmiştir (Shakir Hanna ve Girmay-Gwahid, 1999).

Tarımsal ürünlerin fenolojik gelişiminin hassas tarım faaliyetleri ile izlenmesi ve analizi, tarımsal kaynakların azaldığı ve nüfusun arttığı dünyamızda büyük önem taşımaktadır. Gelişen uzaktan algılama teknolojisi ve yöntemleri, hassas tarım uygulamalarının çok önemli parçası haline gelmiştir. Hızlı ve güvenilir veri elde etme imkânı sağlamasından dolayı ulusal ve uluslararası çalışmalarda uzaktan algılama sıklıkla tercih edilmektedir. Uzaktan algılama teknolojisi farklı platformlarda (yerden, havadan ve uydudan) ve farklı spektral çözünürlüklerde (pankromatik, multispektral ve hiperspektral) gerçekleştirilebilir. Yerden spektroradyometre ölçüm cihazları ile hiperspektral ölçümler yapılabilmektedir. Sudan otu ile ilgili olarak yapılan çalışmaların çoğunlukla laboratuvar ortamında yakın kızılötesi (NIR) spektroskopisi ile yapıldığı görülmektedir. Buna ek olarak , bitkinin doğal ortamında ve bitkiye zarar vermeden arazide gerçekleşen hiperspektral çalışmalar yeterli sayıda değildir. Bu çalışma içeriğinde yersel hiperspektral veriler kullanılarak, farklı biçim yüksekliklerinde şeker sorgum ve SSM'de morfolojik özelliklerinin incelenmesi projeyi özgün kıldığı düşünülmektedir.

Ülkemizde mevcut kaba yem kaynaklarının başında gelen çayır ve mera alanları 14,6 milyon ha alana sahipken, mevcut hayvan varlığı ise yaklaşık olarak 19,3 milyon HB'dir (TÜİK, 2019 verilerinden hesaplanmıştır). Kaba yem kaynaklarının uygun olmayan kullanımları sonucunda verim güçlerinin düşmesi buna bağlı olarak hayvansal üretim miktarlarının azalması sonucunda yem bitkileri yetiştiriciliği ön plana çıkmıştır. Bunların başında özellikle silaj üretimi gelmektedir. Dünyada bu amaçla en çok yetiştirilen bitkilerin başında mısır ve sorgum gelmektedir. Sorgum dünyada 45 milyon hektarda yetiştiriciliği yapılmaktadır (FAOSTAT, 2016). Sorgum kuraklık ve sıcaklık stresine dayanıklılığın

yanında hastalık ve zararlılara karşı göstermiş olduğu tolerans ile mısır bitkisinin önüne geçmiştir (Amzallag ve Seligmann, 2000; Getachew ve ark., 2016). Sorgum ayrıca dünyada ekim alanı ve üretim miktarı bakımından tahıllar içerisinde buğday, çeltik, mısır ve arpanın ardından beşinci sırada gelmektedir. Dünya ve ülkemiz hayvancılığı açısından bu denli önemli olan bitkinin farklı fenolojik dönemlerine ait toprak üstü ve toprak altı biomas üretimlerinin çıkarılması ve spektral ölçümlerle valide ederek geniş alanlara aktarılması bölgemizi ve ülkemizi hem ekonomik hem de işgücü açısından oldukça avantajlı konuma getirecektir. Ayrıca fizyolojik özelliklerin spektral kayıtlarının alınması birçok araştırmaya temel teşkil edecek niteliktedir. Proje çalışmaları, Tarım ve Orman Bakanlığının taşra teşkilatlarıyla işbirliği yapmak suretiyle, hasat zamanı ve otlatma/biçim yönetim ilkelerinin benimsetilmesi yaygın etkiyi artıracaktır. Kaba yem açığının kapatılmasında, üreticilere alternatif ürün ve yetiştirme teknikleri öğretilmiş olacaktır. Projede, morfolojik özelliklere ait temel sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar yeni araştırmalarda yaygın bir şekilde kullanılabilecektir. Projede temel sonuçlarla birlikte hem şeker sorgumda hem de SSM çeşitlerinde yetiştiriciler tarafından kullanılabilecek ve pratiğe aktarılabilecek sonuçlar elde edilmiştir.

Dolayısıyla projede de hiperspektral ölçümler kullanılarak, şeker sorgum ve SSM çeşitlerinde farklı yükseklikten (30, 60, 90, 120 ve 150 cm) yapılacak olan biçimlerinin, bitkinin büyümesine, gelişimine ve verim özelliklerine olan etkileri analiz edilmiştir. Literatür çalışmaları sonucunda tercih edilen bitki indis değerleri ile yeşil ot verimi, kuru ot verimi, kuru madde oranı, yaş kök verimi, kuru kök verimi ve toprak altı kök kuru madde oranı arasındaki ilişkiler ayrı ayrı tüm çeşitler için incelenmiştir. Hiperspektral verilerden üretilen indislerin ve incelenen parametrelerin arasında yüksek korelasyonlar tespit edilmiştir. Ayrıntılar sonraki bölümlerde anlatılacaktır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Bu araştırma, şeker sorgum ve SSM çeşitlerinde farklı biçim zamanı uygulamalarının toplam kütle üretimine olan etkilerini belirleyip bunları spektral ölçümlere eşleştirmek amacıyla 2019 ve 2020 yılları yaz dönemlerinde ana ürün yetiştirme mevsiminde Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi araştırma alanında yürütülmüştür. Araştırma bölünmüş parseller deneme desenine göre 4 tekrarlamalı olarak kurulmuş, ana parselleri çeşitler, alt parselleri ise biçim zamanı uygulamaları oluşturmuştur. Araştırmada materyal olarak erkenci ve geçci olmak üzere ikişer adet şeker sorgum ve SSM çeşidi kullanılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Araştırmada kullanılan tür ve çeşitler ile bunların özellikleri

| *Tür* | *Çeşitler* | *Tescil Yılı* | *Islahçı Kuruluş* | *Üretim Amacı* | *Olgunlaşma* |
|---|---|---|---|---|---|
| Şeker sorgum | Smith | 1988 | USDA-ARS | Şurup, Etanol | Orta Erkenci |
| Şeker sorgum | M 81E | 1981 | USDA - ARS | Şurup, Etanol, Silaj | Geççi |
| Sorgum x sudanotu | Nutri Honey | 2005 | AlfaTohum | Ot ve Otlatma | Orta erkenci |
| Sorgum x sudanotu | Nutrima | 2007 | RoyalAgrolife | Yeşil ot, Silaj, Otlatma | Geççi |

Bitkilerin yem kalitesindeki değişimleri izlemek amacıyla farklı biçim sıklıkları uygulanmıştır. Biçimler bitki boyu 30, 60, 90, 120, 150 cm ve fizyolojik olum dönemlerine ulaştıklarında gerçekleştirilmiştir. Biçim uygulamalarının gerçekleştirildiği her bir parsel 5 m uzunluğunda, şeker sorgumda 6 sıra, SSM'nde 12 sıradan oluşmuştur. Biçim uygulamaları her bir parselin şeker sorgumda 4 sırada, SSM'nde ise 8 sırada test edilmiştir. Bitki boyuna göre gerçekleştirilen biçimler, bitki boyu her bir uygulamada aynı seviyeye geldiğinde tekrarlanmıştır. Deneme alanı klasik toprak işleme yöntemlerine göre hazırlanmıştır. Derin sürümden sonra kültivatör ve diskaro çekilerek tohum yatağı ekime hazır hale getirilmiştir. Derin sürümden önce dekara 10'ar kg azot, fosfor ve potasyum gelecek şekilde 15-15-15 kompoze gübre atılmış ve toprağa karıştırılmıştır. Çıkıştan hemen sonra üst gübre olarak dekara 5 kg azot amonyum sülfat halinde verilmiştir (Avcıoğlu ve ark., 2009). Gübreleme öncesinde parsellerden toprak örnekleri alınmıştır. Denemenin ekimi her iki yılda da mayıs ayının ilk haftasında elle gerçekleştirilmiştir. Şeker sorgum çeşitleri 70 cm aralıklarla açılmış sıralara, sıra üzeri 7-10 cm ve dekarda 17.500 bitki olacak şekilde; SSM çeşitleri 35 cm aralıkla açılmış sıralara yine sıra üzeri 7-10 cm ve dekarda 35.000 bitki bulunacak şekilde ekim işlemi gerçekleşmiştir (Orak ve Kave arkır, 1994; Baytekin ve Şılbır, 1996; Baytekin ve

ark., 1996; Kızıl ve Tansı, 1997; Mahmood ve Honermeier, 2012). Deneme damlama sulama sistemiyle sulanmıştır. Deneme alanına ait toprak analizleri Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (ÇOBİLTUM) yaptırılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre deneme alanın toprakları killi-tınlı bünyeye sahip olup, toprak reaksiyonu açısından nötr karakterdedir. Topraklar orta kireçli, organik madde bakımından orta, fosfor içeriği orta ve potasyum bakımından noksan olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2). Araştırma boyunca deneme alanında çıkan yabancı otlar sıra araları çapalanarak, sıra üzerleri ise el ile yolunarak temizlenmiştir.

Tablo 2. Deneme alanına ait toprak özellikleri

| | **İşba (%)** | **pH** | **E.C. (mS/cm)** | **Kireç (%)** | **Organik madde (%)** | **P (kg/da)** | **K (kg/da)** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Örnek 1** | 70 | 7,50 | 0,85 | 8,65 | 1,89 | 2,95 | 80,36 |
| | Killi-tınlı | Hafif alkali | Tuzsuz | Orta kireçli | Az | Az | Az |
| **Örnek 2** | 65 | 7,35 | 0,88 | 7,69 | 1,95 | 2,45 | 75,69 |
| | Killi-tınlı | Nötr | Tuzsuz | Orta kireçli | Az | Az | Az |
| **Örnek 3** | 68 | 7,31 | 0,95 | 9,16 | 1,78 | 3,10 | 86,35 |
| | Killi-tınlı | Nötr | Tuzsuz | Orta kireçli | Az | Az | Az |
| **Ortalama** | 67,7 | 7,39 | 89,3 | 8,50 | 1,87 | 2,83 | 80,80 |
| | Killi-tınlı | Nötr | Tuzsuz | Orta kireçli | Az | Az | Az |

**İncelenen Özellikler**

**1. Yeşil ot verimleri (kg/da)**

Parseller biçim yüksekliğine geldiğinde, parsel başlarından 50 cm, parsel kenarlarından ikişer sıra kenar tesiri olarak bırakıldıktan sonra, geri kalan 14 $m^2$'lik alan orakla 15 cm anız kalacak şekilde biçilip tartılmıştır (Lang, 2001). Elde edilen parsel verimleri dekara çevrilmiştir.

**2. Kuru ot verimleri (kg/da)**

Parseller yeşil ot için hasat edildikten sonra her parselden şansa bağlı olarak 1 kg'ın üzerinde olmak üzere bitkiler alınarak yaş olarak tartılmıştır. Daha sonra bunlar parçalanıp havada kurutulmuştur. Sonrasında 60ºC'ye ayarlı kurutma fırınında ağırlık sabitleşinceye kadar (48 saat) kurutulup (AOAC, 1990) tartılmıştır. Yeşil ile kuru ağırlıklar karşılaştırılarak kuru madde oranı hesaplanmıştır.

**3. Toprak Üstü Kuru Madde Oranları (%)**

Yeşil ot verimi ile kuru madde oranı çarpılarak elde edilmiştir.

**4. Yaş Kök Verimi (g/bitki)**

Her örnekleme döneminde alınan köklü bitki örneklerinden elde edilerek hesaplanmıştır.

**5. Kuru Kök Verimi (g/bitki)**

Alınan köklü bitki örneklerinin kökleri ayrıldıktan sonra 60ºC'ye ayarlı kurutma fırınında ağırlık sabitleşinceye kadar (48 saat) kurutulup (AOAC, 1990) tartılarak hesaplanmıştır.

**6. Toprak Altı Kök Kuru Madde Oranları (%)**

Yaş kök ağırlığı ile kuru kök ağırlığının oranlaması sonucu hesaplanmıştır.

**7. Hiperspektral Ölçümler**

Yukarıda bahsedilen ölçümlere paralel olarak yapılan bu ölçümler, 350-2500 nm dalga boyu aralığında ölçüm yapabilme özelliği olan Analytical Spectral Devices (ASD) marka seyyar arazi spektroradyometresi ile gerçekleşmiştir. Hiperspektral ölçümler diğer bitkisel gözlemlerle eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümler aktif sistem olan temaslı duyarga (contact probe) ve bulutsuz hava koşullarında pasif sistem olan tabanca (pistol grip) ile yapılmıştır. Bitkiden ölçümlere başlamadan, "Kör Nokta Düzeltmesi" ile "Optimizasyon ve Beyaz Referans" kalibrasyonu işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ölçüm ve kalibrasyon işlemleri, hedefin (yaprak ve beyaz cisim) üzerinden, aynı mesafeden ve nadirden olacak şekilde yapılmıştır. Bir spektral ölçümde her ölçüm için en az 10 yineleme gerçekleştirilmiş ve elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması ViewSpec Pro yazılımında alınarak bitkinin o dönemki spektral eğrisi oluşturulmuştur. Ölçümler güneş ışığından maksimum etkilenme dilim aralığı olan 10.00-14.00 saatleri arasında yapılmıştır.

Çalışma kapsamında incelenen hiperspektral bitki indisleri kategorize edilmiş şekilde formülleri ile Tablo 2'de verilmiştir. Bu indisler ile yukarıda bahsedilen bitki ölçümleri arasındaki ilişkiler Bulgular bölümünde analiz edilmiştir.

Tablo 3. Araştırmada kullanılan hiperspektral indisler ve formülleri (Giovos ve ark., 2021).

| KATEGORİ | INDEX | AÇILIMI | FORMÜL |
|---|---|---|---|
| **Klorofil** | **CLREDEDGE** | Chlorophyll Red Edge | $(NIR/RED)-1$ |
| **Klorofil** | **MCARI** | Modified Chlorophyll Absorption in Ratio İndex | $\frac{1,2\times(2,5\times(NIR-RED)-1,3\times(NIR-GREEN)}{\sqrt{(2\times NIR+1)^2-6\times(NIR-5\times RED)-0,5}}$ |
| **Pigment** | **VARI** | Visible Atmospherically Resistant Index | $\frac{(GREEN-RED)}{(GREEN+RED-BLUE)}$ |
| **Pigment** | **PRI** | The Photochemical Reflectance Index | $\frac{(R531-R570)}{(R531+R570)}$ |
| **Pigment** | **R/B** | Red/Blue Index | $RED/BLUE$ |
| **Biyomas/ Vejetasyon** | **NDVI** | Normalized Difference Vegetation Index | $(NIR-RED)/(NIR+RED)$ |
| **Biyomas/ Vejetasyon** | **EVI** | Enhanced Vegetation Index | $2,5\times\frac{(NIR-RED)}{(NIR+C1RED-C2BLUE+L)}$ |
| **Biyomas/ Vejetasyon** | **SAVI** | Soil-Adjusted Vegetation Index | $\frac{NIR-RED}{NIR+RED+L}\times(1+L)$ |
| **Biyomas/ Vejetasyon** | **PVI** | Perpendicular Vegetation Index | $\sqrt{(0,335\times NIR-0,149\times RED+(0,335\times RED-0.149\times NIR)^2}$ |
| **Biyomas/ Vejetasyon** | **RVI** | Ratio Vegetation Index | $RED/NIR$ |
| **Biyofiziksel Parametreler** | **MSR** | Modified Simple Ratio | $\frac{((NIR/RED)-1)}{\sqrt{((NIR/RED)+1)}}$ |
| **Su** | **NDWI** | Normalized Difference Water Index | $\frac{(GREEN-NIR)}{(GREEN+NIR)}$ |
| **Su** | **MSI** | Moisture Stress Index | $SWIR/NIR$ |

## 8. Sonuçların Değerlendirilmesi

Çalışmadan elde edilecek veriler farklı istatistik yöntemler kullanılarak analiz edilmiştir. Yapılan analiz yöntemi ve amaçlara göre kullanılacak istatistik analiz yöntemleri aşağıda açıklanmıştır. İncelenen özelliklerin biçim sırasına (1. ve 2. biçim gibi) bağlı olarak değişimleri ve türlere göre bu değişimlerin farklarının analiz edilmesi amacıyla tekrarlanan ölçümlü deneme düzeninde varyans analizi tekniğinden yararlanılmıştır. Varyans analizleri SAS istatistik paket programı (SAS Institute, 1999) kullanılarak analiz edilmiştir. Ölçülen hiperspektral veriler, ViewSpec Pro yazılımı kullanılarak işlenmiştir. Oluşturulan veriler ile proje kapsamında ölçülen fizyolojik ve morfolojik özellikler arasındaki ilişkiler MS-Office ve SPSS istatistik paket programları yardımıyla incelenmiştir.

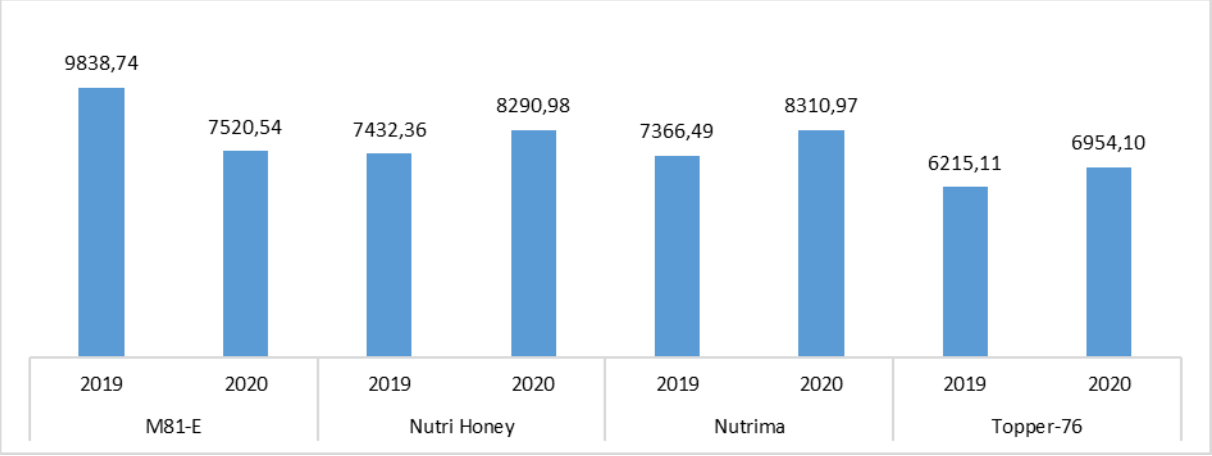
## BULGULAR

### 1. Yeşil Ot Verimleri (kg/da)

Farklı biçim uygulamalarına göre sorgum sudan otu (Nutrima ve Nutri Honey) ve şeker sorgumu çeşitlerinin (M81-E ve Topper-76) yeşil ot verimleri çeşitlere ($P_{Çeşit}$: 0,0001), biçim yüksekliklerine ($P_{Biçim\ yüksekliği}$: 0,0001) ve bunlar arasındaki etkileşimlere ($P_{Ç*BY}$:0,0001) göre istatistiki olarak önemli değişim göstermiştir (Tablo 3).

Genel olarak çeşitlerin yeşil ot verimleri araştırmanın ikinci yılında daha yüksek bulunmuştur. Sadece M81-E şeker sorgumu çeşidinin birinci yıl verimi (9838,74 kg/da) ikinci yıldan (7520,54 kg/da) daha yüksek çıkmıştır. Çeşitlerin yeşil ot verimleri 6215,11 kg/da-9838,74 kg/da arasında değişim göstermiştir. En yüksek yeşil ot verimlerine 9838,74 kg/da ile M81-E şeker sorgumu çeşidinin ilk yılında belirlenirken, bunu 8310,97 kg/da ile Nutrima çeşidinin ikinci yıl verimi izlemiştir. En düşük verimler ise Topper-76 çeşidinin birinci (6215,11 kg/da) ve ikinci yıl (6954,10 kg/da) değerlerinde tespit edilmiştir (Şekil 1).

İki yıllık ortalama yeşil ot verimlerini incelediğimizde ise en yüksek ortalamaya sahip çeşit M81-E (8679,6 kg/da) iken en düşük ortalamaya sahip çeşit ise Topper-76 (6584,6 kg/da) olmuştur. Nutri Honey ve Nutrima çeşitleri benzer performans göstermiştir (7861,7 kg/da ve 7838,7 kg/da). 120 cm biçim yüksekliği, en yüksek ortalama verime sahiptir (8372,2kg/da). En düşük ortalama verim 30 cm de ki biçimde görülmüştür (6668,4). Biçim yüksekliği arttıkça yeşil ot verimi artma eğilimindedir. M81-E çeşidinde fizyolojik olumda verim çok yüksektir (10717,6 kg/da). Ancak diğer çeşitlerde fizyolojik olumda verim düşüktür (Nutrima- 6118,2 kg/da). Fizyolojik olumda biçim çeşitlere göre değişiklik göstermektedir (Tablo 7).




Şekil 1. Farklı yıllara göre sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin yeşil ot verimleri.

Tablo 4. Farklı biçim uygulamalarına bağlı olarak sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin yeşil ot verimlerine ait varyans analiz değerleri

| *Varyans Kaynakları* | *Serbestlik Derecesi* | *Kareler Ortalaması* | *P-Değeri* |
|---|---|---|---|
| **Tekerrür** | 2 | 223853 | 0,9238 |
| **Çeşit (Ç)** | 3 | 80726142 | 0,0001 |
| **Biçim Yüksekliği (BY)** | 5 | 42309653 | 0,0001 |
| **Ç*BY** | 15 | 78780193 | 0,0001 |
| **Hata** | 118 | 166563042 | - |
| **Genel** | 143 | - | - |

Tablo 5. Farklı biçim uygulamalarına bağlı olarak sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin iki yıllık (2019-2020) ortalama yeşil ot verimleri (kg/da)

| *Biçim Uygulamaları* | *SS*-Nutri Honey* | *SS*-Nutrima* | *ŞS*-M81-E* | *ŞS*-Topper-76* | *Ortalama* |
|---|---|---|---|---|---|
| **30 cm** | 7126,6 **d-h** | 7162,6 **d-h** | 6617,2 **f-ı** | 5767,5 **ı** | 6668,4 **C** |
| **60 cm** | 7360,5 **c-h** | 8717,1 **bc** | 8267,2 **bcd** | 6011,4 **hı** | 7589,1 **B** |
| **90 cm** | 8916,9 **b** | 8254,4 **bcd** | 7975,2 **b-f** | 6765,6 **e-ı** | 7978,0 **AB** |
| **120 cm** | 8630,4 **bc** | 8061,3 **b-e** | 9288,3 **b** | 7509,0 **c-g** | 8372,2 **A** |
| **150 cm** | 8068,6 **b-e** | 8718,8 **bc** | 9212,3 **b** | 6432,4 **ghı** | 8108,0 **AB** |
| **Fizyolojik Olum** | 7067,1 **d-ı** | 6118,2 **hı** | 10717,6 **a** | 7021,8 **d-ı** | 7731,2 **AB** |
| **Ortalama** | 7861,7 **B** | 7838,7 **B** | 8679,6 **A** | 6584,6 **C** | - |

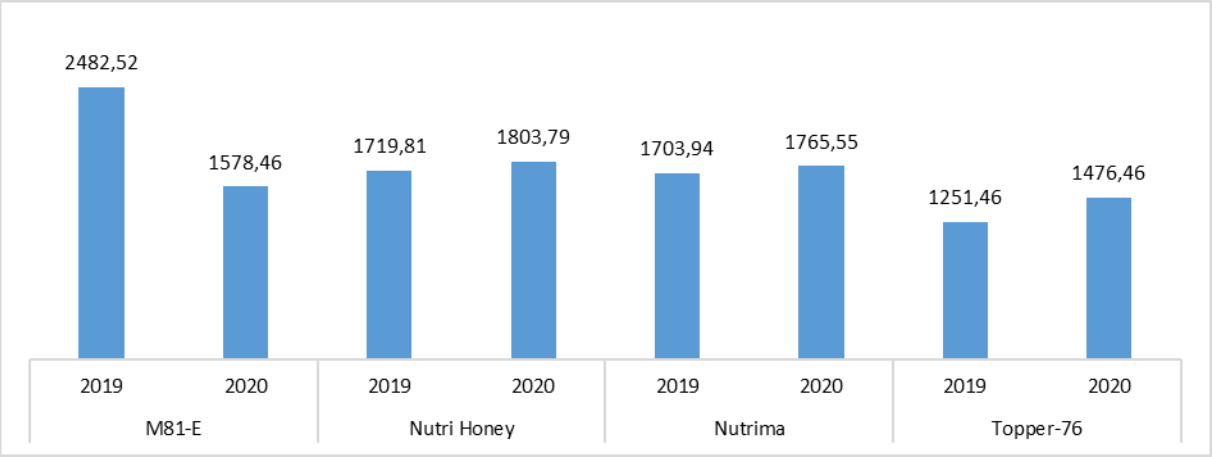
*SS: Sorgum Sudan otu, ŞS: Şeker Sorgumu

**2. Kuru Ot Verimleri (kg/da)**

Farklı biçim yüksekliklerine göre yapılan hasatlar sonucu sorgum sudan otu (Nutrima ve Nutri Honey) ve şeker sorgumu çeşitlerinin (M81-E ve Topper-76) kuru ot verimleri hem hangi çeşidin kullanıldığına ($P_{Çeşit}$: 0,0001) hem de hangi yükseklikten biçim yapıldığına göre ($P_{Biçim\ yüksekliği}$: 0,0001) anlamlı şekilde değişmiştir. Ayrıca, her çeşit biçim yüksekliğine aynı değişimi göstermemiş, bu da çeşit ile biçim yüksekliği arasında önemli bir etkileşim olduğunu göstermiştir ($P_{Ç*BY}$:0,0001) (Tablo 6).

Araştırmada iki yıllık kuru ot verimleri sonuçlarına göre genel olarak çeşitlerin ikinci yıl verim değerleri daha yüksek bulunmuştur. Sadece M81-E çeşidinin birinci yıl kuru ot verimi (2482,52 kg/da) ikinci yıldan (1578,46 kg/da) daha yüksektir. En yüksek kuru ot verimi M81-E şeker sorgumu çeşidinin birinci yılında 2482,52 kg/da olarak belirlenirken, en düşük kuru ot verimi ise Topper-76 çeşidinin ilk yılında 1251,46 kg/da olarak tespit edilmiştir. Sorgum sudan otu çeşitleri olan Nutrima ve Nutri Honey kuru ot verimi değerleri açısından her iki yılda da birbirine yakın değerler izlemiştir. Nutrima çeşidinde kuru ot verimi birinci yılda 1703,94 kg/da iken ikinci yılda 1765,55 kg/da olarak bulunmuştur. Nutri Honey çeşidinde ise kuru ot verimi 2019 yılında 1719,81 kg/ da , 2020 yılında ise 1803,79 kg/da olarak hesaplanmıştır (Şekil 2).

2019-2020 yılları ortalama kuru ot verim değerlerine baktığımızda M81-E çeşidi (2030,5 kg/da) en yüksek değere sahipken, en düşük değer ise Topper-76 ( 1364,0 kg/da) çeşidindedir. Tüm çeşitler fizyolojik olum döneminde yapılan biçimlerde en yüksek ortalama kuru ot verim değerlerine sahiptirler. 30 cm biçim uygulaması düşük kuru ot verimi ile sonuçlanmıştır. M81-E çeşidi fizyolojik olum döneminde biçildiğinde en yüksek kuru ot verim değerine sahiptir (4071,1 kg/da) (Tablo 7).



Şekil 2. Faklı yıllara göre sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin kuru ot verimleri.

Tablo 6. Farklı biçim uygulamalarına bağlı olarak sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin kuru ot verimlerine ait varyans analiz değerleri

| *Varyans Kaynakları* | *Serbestlik Derecesi* | *Kareler Ortalaması* | *P-Değeri* |
|---|---|---|---|
| **Tekerrür** | 2 | 36205 | 0,8733 |
| **Çeşit (Ç)** | 3 | 8103650 | 0,0001 |
| **Biçim Yüksekliği (BY)** | 5 | 45134756 | 0,0001 |
| **Ç*BY** | 15 | 11033278 | 0,0001 |
| **Hata** | 118 | 15754052 | - |
| **Genel** | 143 | - | - |

Tablo 7. Farklı biçim uygulamalarına bağlı olarak sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin iki yıllık (2019-2020) ortalama kuru ot verimleri (kg/da)

| *Biçim Uygulamaları* | *SS*-Nutri Honey* | *SS*-Nutrima* | *ŞS*-M81-E* | *ŞS*-Topper-76* | *Ortalama* |
|---|---|---|---|---|---|
| **30 cm** | 1050,3 **ıjk** | 1127,5 **ıjk** | 983,6 **jk** | 760,6 **k** | 980,5 **D** |
| **60 cm** | 1222,7 **hıj** | 1383,9 **g-j** | 1610,9 **e-h** | 1081,0 **ıjk** | 1324,6 **C** |
| **90 cm** | 1888,7 **de** | 1874,3 **de** | 1764,1 **d-g** | 1146,0 **ıjk** | 1668,3 **B** |
| **120 cm** | 1943,6 **cde** | 1643,7 **efg** | 1944,0 **cde** | 1445,6 **f-ı** | 1744,2 **B** |
| **150 cm** | 1959,4 **cde** | 2068,5 **cd** | 1809,2 **def** | 1442,3 **f-ı** | 1819,9 **B** |
| **Fizyolojik Olum** | 2506,2 **b** | 2310,5 **bc** | 4071,1 **a** | 2308,2 **bc** | 2799,0 **A** |
| **Ortalama** | 1761,8 **B** | 1734,8 **B** | 2030,5 **A** | 1364,0 **C** | - |

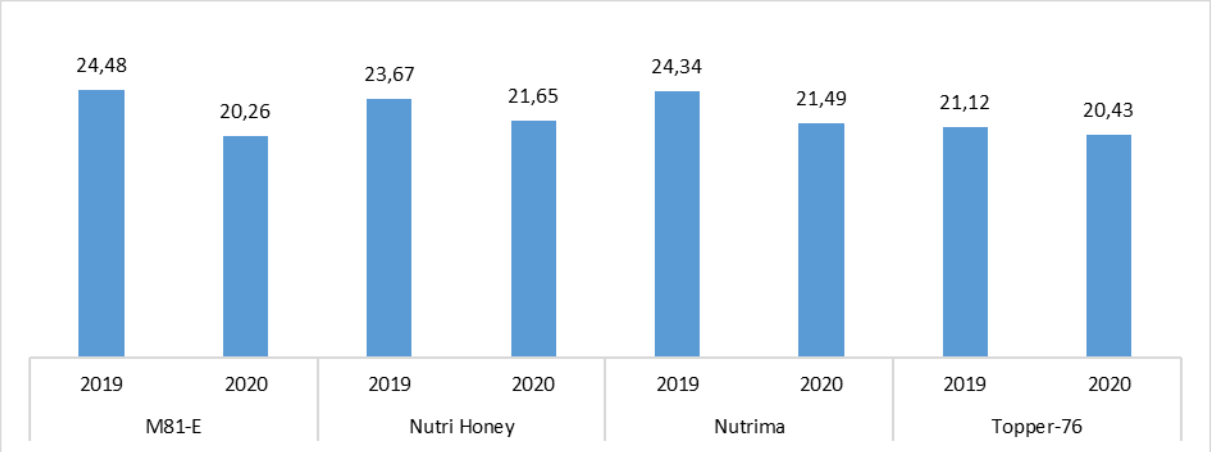
*SS: Sorgum Sudan otu, ŞS: Şeker Sorgumu

### 3. Toprak Üstü Kuru Madde Oranları (%)

Farklı biçim uygulamalarına bağlı olarak sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin kuru madde oranlarına ait varyans analiz değerleri sonuçlarına baktığımızda biçim yüksekliğinin kuru madde oranını önemli ölçüde etkilediği ($P_{\text{Biçim yüksekliği}}$: 0,0001) görülmektedir. Diğer faktörler (çeşit ile çeşit ve biçim yüksekliği arasındaki etkileşim) ise istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır (Tablo 8).

Denemenin ilk yılında kuru madde oranı en yüksek çeşit M81-E (%24,48), en düşük çeşit ise Topper-76 (%21,12)'dır. İkinci yılında ise kuru madde oranı en yüksek çeşit Nutrima (%21,49) iken en düşük çeşit M81-E (%20,26) olmuştur (Şekil 3).

Ortalama toprak üstü kuru madde oranlarına baktığımızda en yüksek kuru madde oranı fizyolojik olum döneminde yapılan biçimlerden elde edilmiştir (%36,54). En düşük kuru madde oranı ise 30 cm biçim yüksekliğinde gözlenmiştir (%14,75). Genel olarak biçim yüksekliği arttıkça kuru madde oranı da artmıştır (Tablo 9).




Şekil 3. Faklı yıllara göre sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin toprak üstü kuru madde oranları.

Tablo 8. Farklı biçim uygulamalarına bağlı olarak sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin kuru madde oranlarına ait varyans analiz değerleri

| *Varyans Kaynakları* | *Serbestlik Derecesi* | *Kareler Ortalaması* | *P-Değeri* |
|---|---|---|---|
| **Tekerrür** | 2 | 6,4543 | 0,7915 |
| **Çeşit (Ç)** | 3 | 100,0859 | 0,0694 |
| **Biçim Yüksekliği (BY)** | 5 | 6906,7690 | 0,0001 |
| **Ç*BY** | 15 | 300,7097 | 0,1336 |
| **Hata** | 118 | 1625,7627 | - |
| **Genel** | 143 | - | - |

Tablo 9. Farklı biçim uygulamalarına bağlı olarak sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin iki yıllık (2019-2020) ortalama kuru madde oranları (%)

| *Biçim Uygulamaları* | *SS*-Nutri Honey* | *SS*-Nutrima* | *ŞS*-M81-E* | *ŞS*-Topper-76* | *Ortalama* |
|---|---|---|---|---|---|
| **30 cm** | 14,74 | 15,75 | 14,93 | 13,60 | 14,75 **E** |
| **60 cm** | 16,62 | 15,87 | 20,01 | 17,95 | 17,62 **D** |
| **90 cm** | 21,15 | 22,73 | 21,26 | 16,82 | 20,49 **C** |
| **120 cm** | 22,56 | 20,33 | 20,66 | 19,29 | 20,71 **C** |
| **150 cm** | 24,84 | 24,48 | 19,55 | 23,05 | 22,98 **B** |
| **Fizyolojik Olum** | 36,05 | 38,35 | 37,82 | 33,94 | 36,54 **A** |
| **Ortalama** | 22,66 | 22,92 | 22,37 | 20,78 | - |

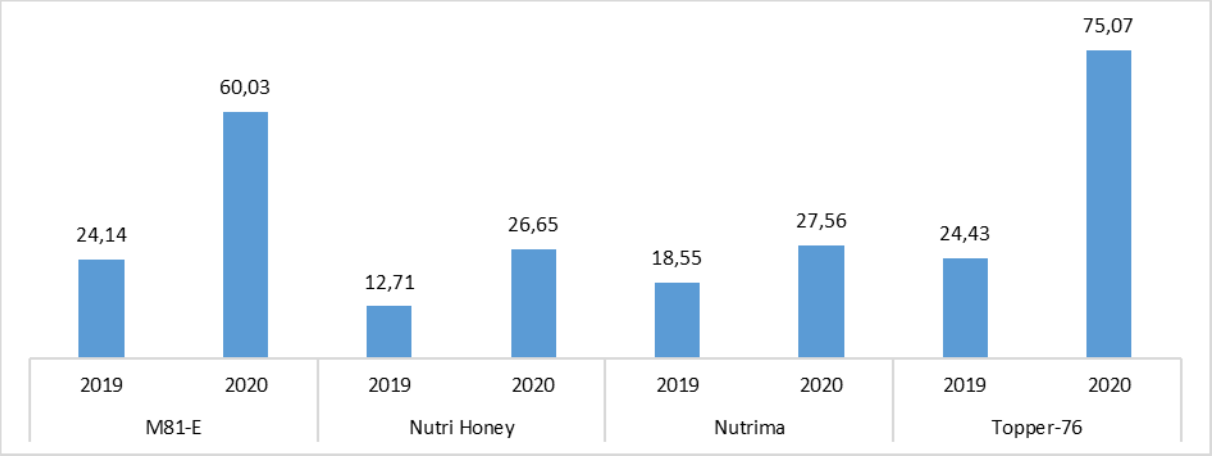
*SS: Sorgum Sudan otu, ŞS: Şeker Sorgumu

**4. Yaş Kök Verimi (g/bitki)**

Farklı biçim uygulamalarına göre sorgum sudan otu (Nutrima ve Nutri Honey) ve şeker sorgumu çeşitlerinin (M81-E ve Topper-76) yaş kök verimi çeşitlere ($P_{Çeşit}$: 0,0001) göre istatistiki olarak önemli değişim göstermiştir (Tablo 10).

Farklı yıllara göre sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin yaş kök verimlerine baktığımızda tüm çeşitlerde ikinci yılda birinci yıla göre artış olmuştur. Şeker sorgumu çeşidi olan M81-E çeşidinde 2019 yılında ortalama yaş kök verimi 24,14 g/bitki iken 2020 yılında ise bu değer 60,03 g/bitki olmuştur. Yaklaşık 2,5 kat kadar bir artış gözlemlenmektedir. Bu durum Topper-76 çeşidinde de geçerlidir. Her iki yılda da en yüksek yaş kök verimi değerine sahip çeşit Topper-76 ( 24,43-75,07 g/bitki) iken, en düşük değere sahip çeşit ise Nutri Honey'dir (12,71-26,65 g/bitki) (Şekil 4).

Sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin 2019-2020 yıllarında yapılan denemelerde farklı biçim uygulamalarına göre ortalama yaş kök verim değerlerini incelediğimizde en verimli çeşitler şeker sorgumu çeşitleri ( M81-E ve Topper-76 ) en verimli biçim uygulaması ise fizyolojik olum dönemi olmuştur. Sorgum sudan otlarının (Nutrima ve Nutri Honey) yaş kök verimleri düşüktür. 30 cm den yapılan biçimlerde en düşük yaş kök verimi değerleri kaydedilmiştir (Tablo 11).




Şekil 4. Faklı yıllara göre sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin yaş kök verimleri.

Tablo 10. Farklı biçim uygulamalarına bağlı olarak sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin yaş kök verimlerine ait varyans analiz değerleri

| *Varyans Kaynakları* | *Serbestlik Derecesi* | *Kareler Ortalaması* | *P-Değeri* |
|---|---|---|---|
| **Tekerrür** | 2 | 4,930 | 0,9950 |
| **Çeşit (Ç)** | 3 | 22953,740 | 0,0001 |
| **Biçim Yüksekliği (BY)** | 5 | 8141,202 | 0,0076 |
| **Ç*BY** | 15 | 17190,941 | 0,0057 |
| **Hata** | 118 | 57721,67 | - |
| **Genel** | 143 | - | - |

Tablo 11. Farklı biçim uygulamalarına bağlı olarak sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin iki yıllık (2019-2020) ortalama yaş kök verimleri (g/bitki)

| *Biçim Uygulamaları* | *SS*-Nutri Honey* | *SS*-Nutrima* | *ŞS*-M81-E* | *ŞS*-Topper-76* | *Ortalama* |
|---|---|---|---|---|---|
| **30 cm** | 24,95 **d-g** | 31,39 **d-g** | 16,47 **fg** | 20,07 **efg** | 23,22 **C** |
| **60 cm** | 25,75 **d-g** | 27,67 **d-g** | 39,00 **c-f** | 59,16 **abc** | 37,89 **AB** |
| **90 cm** | 19,69 **efg** | 19,35 **fg** | 44,73 **b-e** | 69,47 **ab** | 38,31 **AB** |
| **120 cm** | 15,93 **fg** | 18,83 **fg** | 46,48 **bcd** | 40,94 **c-f** | 30,54 **BC** |
| **150 cm** | 18,33 **fg** | 19,84 **efg** | 37,64 **c-g** | 31,03 **d-g** | 26,71 **BC** |
| **Fizyolojik Olum** | 13,45 **g** | 21,26 **d-g** | 68,19 **ab** | 77,82 **a** | 45,18 **A** |
| **Ortalama** | 19,68 **B** | 23,06 **B** | 42,08 **A** | 49,75 **A** | - |

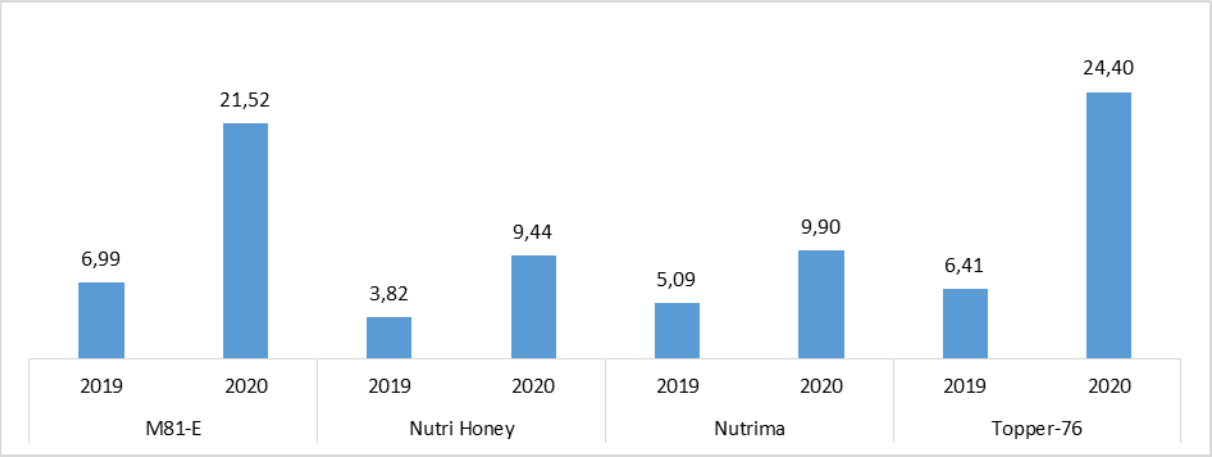
*SS: Sorgum Sudan otu, ŞS: Şeker Sorgumu

**5. Kuru Kök Verimi (g/bitki)**

Farklı biçim yüksekliklerine göre yapılan hasatlar sonucu sorgum sudan otu (Nutrima ve Nutri Honey) ve şeker sorgumu çeşitlerinin (M81-E ve Topper-76) kuru kök verimleri çeşit ($P_{Çeşit}$: 0,0001), biçim yüksekliği ($P_{Biçim\ yüksekliği}$: 0,0001) ve çeşit ve biçim yüksekliği arasındaki etkileşime göre anlamlı şekilde değişmiştir ($P_{Ç*BY}$=0,0023) (Tablo 12).

Sorgum sudan otu ve şeker sorgumu tüm çeşitlerinde kuru kök verimi ikinci yılda birinci yıldan yüksektir. 2020 yılında Topper-76 çeşidi en yüksek kuru kök verimine (24,40 g/bitki) sahiptir. Aynı yılda en düşük kuru kök verimine ( 9,44 g/bitki) ise Nutri Honey çeşidi sahip olmuştur. 2019 yılında ise en yüksek kuru kök verimi (6,99 g/bitki) M81-E çeşidinde, en düşük ( 3,82 g/bitki) ise Nutri Honey çeşidindedir (Şekil 5).

İki yıllık ortalama kuru kök verimi sonuçlarına baktığımızda şeker sorgumu çeşitleri ( M81-E ve Topper-76) , sorgum sudan otu çeşitlerinden ( Nutrima ve Nutri Honey) daha yüksek kuru kök verimi üretmiştir (M81-E çeşidi 14,25 g/bitki, Topper-76 çeşidi 15,40 g/bitki, Nutri Honey çeşidi 6,63 g/bitki ve Nutrima çeşidi 7,50 g/bitki ). En yüksek kuru kök verimi fizyolojik olum döneminde yapılan hasatta elde edilmiştir ( M81-E 31,86 g, Topper-76 31,66 g). 30 cm ve 60 cm gibi erken hasatlarda ise verimler düşüktür (Tablo 13).




Şekil 5. Faklı yıllara göre sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin kuru kök verimleri.

Tablo 12. Farklı biçim uygulamalarına bağlı olarak sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin kuru kök verimlerine ait varyans analiz değerleri

| *Varyans Kaynakları* | *Serbestlik Derecesi* | *Kareler Ortalaması* | *P-Değeri* |
|---|---|---|---|
| **Tekerrür** | 2 | 1,8863 | 0,9883 |
| **Çeşit (Ç)** | 3 | 2208,5127 | 0,0001 |
| **Biçim Yüksekliği (BY)** | 5 | 2102,2559 | 0,0002 |
| **Ç*BY** | 15 | 3906,0251 | 0,0023 |
| **Hata** | 118 | 9444,654 | - |
| **Genel** | 143 | - | - |

Tablo 13. Farklı biçim uygulamalarına bağlı olarak sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin iki yıllık (2019-2020) ortalama kuru kök verimleri (g/bitki)

| *Biçim Uygulamaları* | *SS*-Nutri Honey* | *SS*-Nutrima* | *ŞS*-M81-E* | *ŞS*-Topper-76* | *Ortalama* |
|---|---|---|---|---|---|
| **30 cm** | 7,56 **c** | 9,60 **bc** | 4,43 **c** | 6,66 **c** | 7,06 **B** |
| **60 cm** | 8,69 **bc** | 8,84 **bc** | 7,81 **c** | 18,75 **b** | 11,03 **B** |
| **90 cm** | 7,28 **c** | 5,61 **c** | 14,34 **bc** | 12,31 **bc** | 9,89 **B** |
| **120 cm** | 5,30 **c** | 6,28 **c** | 12,81 **bc** | 12,79 **bc** | 9,30 **B** |
| **150 cm** | 5,66 **c** | 7,15 **c** | 14,28 **bc** | 10,25 **bc** | 9,33 **B** |
| **Fizyolojik Olum** | 5,29 **c** | 7,49 **c** | 31,86 **a** | 31,66 **a** | 19,07 **A** |
| **Ortalama** | 6,63 **B** | 7,50 **B** | 14,25 **A** | 15,40 **A** | - |

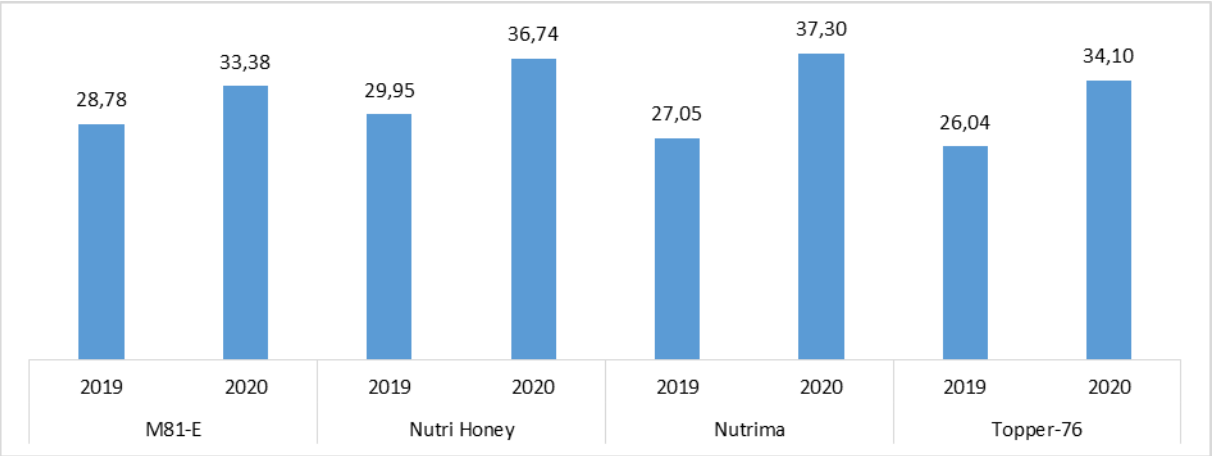
*SS: Sorgum Sudan otu, ŞS: Şeker

**6. Kök Kuru Madde Oranı (%)**

Farklı biçim uygulamalarına bağlı olarak sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin kuru madde oranlarına ait varyans analiz değerleri sonuçlarını incelediğimizde çeşitler arasında kök kuru madde oranı bakımından fark istatistiksel olarak anlamlı değil, ancak sınıra yakındır (p=0,1287). Biçim yüksekliği ise kök kuru madde oranını çok güçlü biçimde etkilemektedir (p=0,001). Çeşit ile biçim yüksekliği arasındaki etkileşim de anlamlıdır (p=0,0145) (Tablo 14).

Tüm çeşitlerde 2020 yılına ait kök kuru madde oranı, 2019 yılına göre daha yüksektir. 2020 yılında en yüksek ortalama kök kuru madde oranı Nutrima (%37,30) ve Nutri Honey (%36,74) çeşitlerinde ölçülmüştür. 2019 yılında tüm çeşitlerde değerler %30 'un altındayken , 2020 yılında %33'ün üzerine çıkmıştır (Şekil 6).

En yüksek kök kuru madde oranı fizyolojik olum döneminde yapılan hasat sonucunda M81-E çeşidinde (%42,04) ve Nutri Honey çeşidinde (%41,05) görülmektedir. En düşük değer ise 90 cm yüksekliğinde yapılan hasat döneminde Topper-76 (%20,77) çeşidinde ölçülmüştür (Tablo 15).




Şekil 6. Faklı yıllara göre sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin kök kuru madde oranları.

Tablo 14. Farklı biçim uygulamalarına bağlı olarak sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin kök kuru madde oranlarına ait varyans analiz değerleri

| *Varyans Kaynakları* | *Serbestlik Derecesi* | *Kareler Ortalaması* | *P-Değeri* |
|---|---|---|---|
| **Tekerrür** | 2 | 24,1664 | 0,7232 |
| **Çeşit (Ç)** | 3 | 215,1574 | 0,1287 |
| **Biçim Yüksekliği (BY)** | 5 | 2105,4542 | 0,0001 |
| **Ç*BY** | 15 | 1168,2101 | 0,0145 |
| **Hata** | 118 | 4388,1351 | - |
| **Genel** | 143 | - | - |

Tablo 15. Farklı biçim uygulamalarına bağlı olarak sorgum sudan otu ve şeker sorgumu çeşitlerinin iki yıllık (2019-2020) ortalama kök kuru madde oranları (%)

| *Biçim Uygulamaları* | *SS*-Nutri Honey* | *SS*-Nutrima* | *ŞS*-M81-E* | *ŞS*-Topper-76* | *Ortalama* |
|---|---|---|---|---|---|
| **30 cm** | 29,16 **de** | 28,95 **de** | 27,91 **ef** | 32,82 **b-e** | 29,71 **C** |
| **60 cm** | 30,83 **b-e** | 29,79 **cde** | 21,90 **fg** | 28,75 **def** | 27,82 **C** |
| **90 cm** | 35,21 **a-d** | 28,67 **def** | 31,39 **b-e** | 20,77 **g** | 29,01 **C** |
| **120 cm** | 32,70 **b-e** | 32,85 **b-e** | 27,64 **efg** | 30,15 **cde** | 30,84 **BC** |
| **150 cm** | 31,13 **b-e** | 35,07 **a-d** | 35,61 **a-d** | 31,44 **b-e** | 33,31 **B** |
| **Fizyolojik Olum** | 41,05 **a** | 37,73 **ab** | 42,04 **a** | 36,48 **abc** | 39,32 **A** |
| **Ortalama** | 33,35 | 32,18 | 31,08 | 30,07 | - |

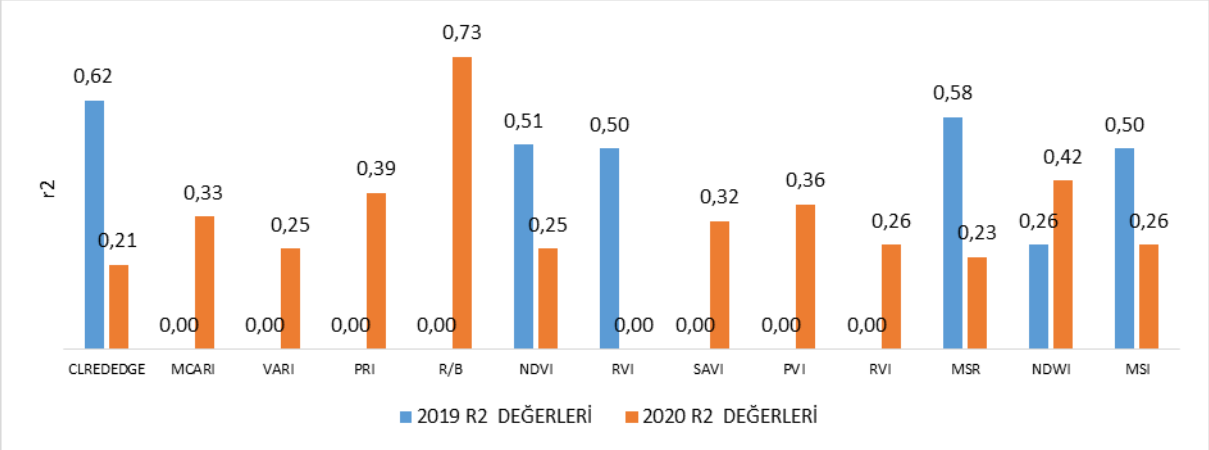
*SS: Sorgum Sudan otu, ŞS: Şeker

### 7. Hiperspektral ölçümler

Fenolojik gelişimin modellenmesi ve bitkide meydana gelebilecek olumlu/olumsuz gelişmelerin belirlenmesi hiperspektral analiz yöntemleri ile de mümkündür. Bu doğrultuda, çalışma kapsamında yukarıda sıralanan parametreler ile hiperspektral veriler arasındaki ilişkiler bitki indisleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aralarındaki korelasyonlar belirleme katsayısı ($r^2$) ile sunulmuştur ve 0-1,19 çok zayıf, 0,20-0,39 zayıf, 0,40-0,59 orta, 0,60-0,79 güçlü ve 0,80-1 ise çok güçlü korelasyon sınıflarını ifade eder (Basumatary ve ark., 2023). Bulgular sırasıyla aşağıdaki gibidir.

#### 7.1. Yeşil ot verimleri

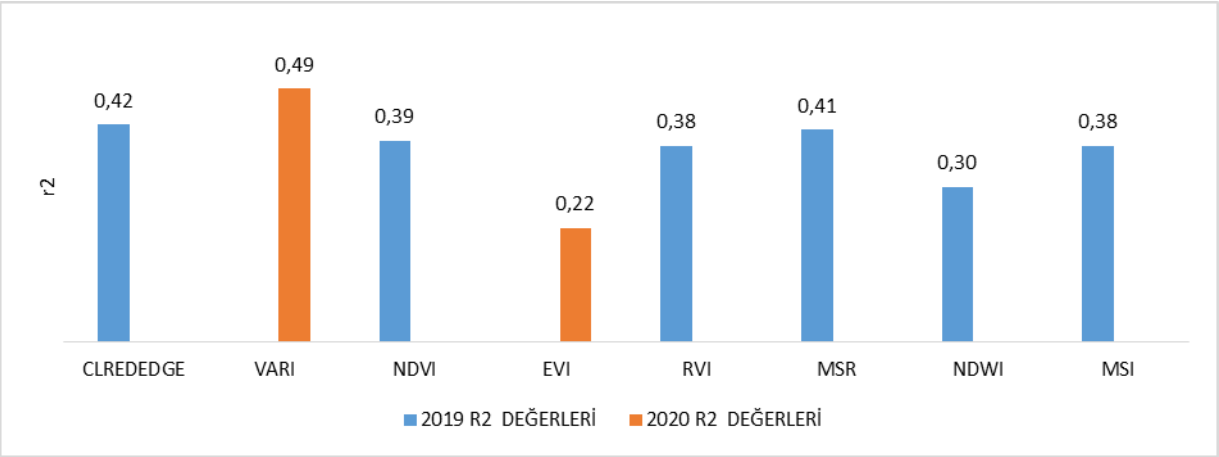
2019 ve 2020 yıllarına ait sorgum sudan otu (Nutrima ve Nutri Honey) ve şeker sorgumu ( M81-E ve Topper-76) çeşitlerinin yeşil ot verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirme katsayıları Şekil 7,8,9 ve 10'da verilmiştir. Yapılan ölçümler ve analizler sonucunda, her iki yılda da yeşil ot verim değerleri ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı M81-E çeşidinde yüksek bulunmuştur.




Şekil 7. 2019-2020 yılı Nutri Honey çeşidi yeşil ot verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$).

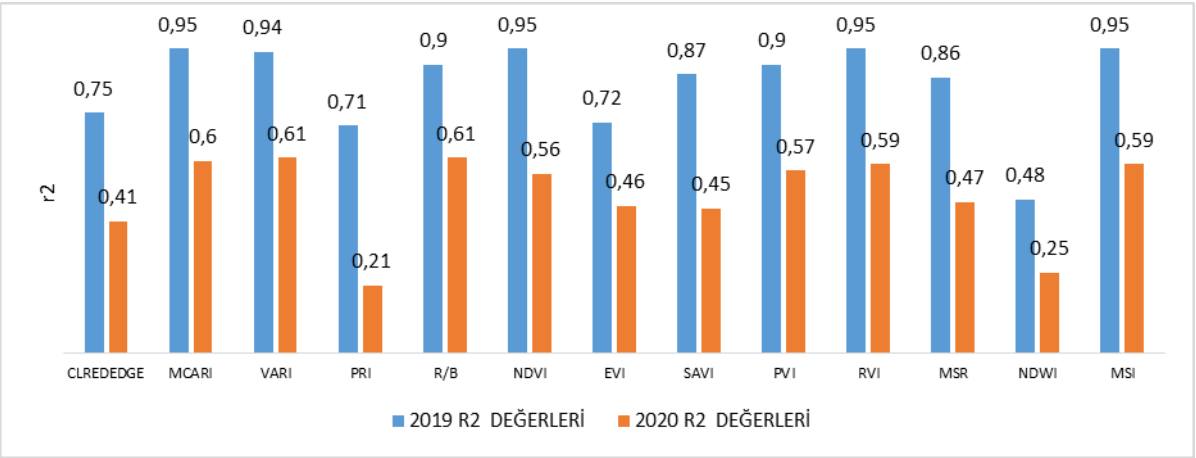
Nutri Honey çeşidine ait yeşil ot verimi değerleri ile indislerin $r^2$ değerlerinin yıllara göre karşılaştırıldığı Şekil 7 'de yıllar arasında belirgin farklılıklar gözlenmektedir. 2019 yılında $r^2$ değerleri daha yüksek iken 2020 yılında bazı indislerde düşüş gerçekleşmiştir. R/B indisi 2020 yılında en yüksek $r^2$ değerine sahipken (0,73), 2019 'da ise CLREDEGDE indisi en yüksek $r^2$ değerine (0,62) sahip indis olarak ön plana çıkmaktadır. Her iki yılda da yeşil ot verimi değerleri ile ilişkilendirilen indisler sırasıyla CLREDEDGE, NDVI, RVI, MSR,

NDWI ve MSI olurken bu indislerin korelasyon belirleme katsayıları NDWI indisi hariç 2019 yılında daha yüksek iken 2020 yılında belirgin bir düşüş göstermiştir. 2019 yılında verim değerleri ile indisler arasında daha güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir (Şekil 7).



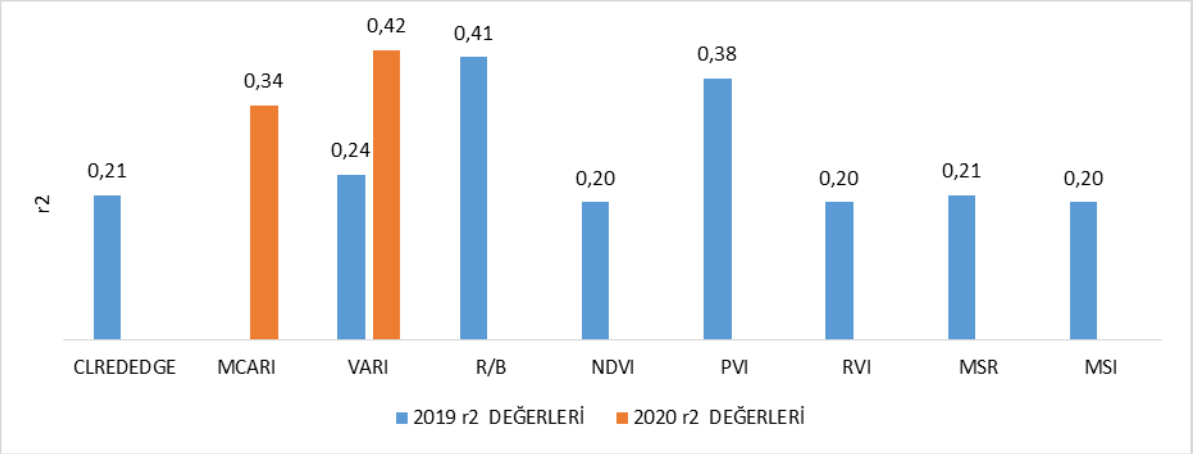

Şekil 8. 2019-2020 yılı Nutrima çeşidi yeşil ot verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$).

Nutrima çeşidinin yeşil ot verim değerleri ve indislerin korelasyon belirleme katsayıları arasındaki değerlere baktığımızda 2019 yılında en yüksek değere (0,42) sahip CLREDEDGE indisi olurken, 2020 yılında ise VARI indisi (0,49) olmuştur. 2019 yılında verim değerleri ile daha çok indis ilişkilendirilirken, 2020 yılında daha az ilişki bulunmuştur (Şekil 8).




Şekil 9. 2019-2020 yılı M81-E çeşidi yeşil ot verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$).

M81-E çeşidinin yeşil ot verimi ile bazı vejetasyon indislerinin arasındaki $r^2$ değerlerini yıllara göre karşılaştırdığımızda 2019 yılında tüm indisler daha yüksek değerlere sahip iken 2020 yılında belirgin bir şekilde indis değerlerinde düşüş olmuştur. 2019 yılı için MCARI, VARI, R/B, PVI, RVI ve MSI indisleri 0,9 civarında oldukça yüksek $r^2$ değerlerine sahip olurken, NDWI indisi ise en düşük (0,48) $r^2$ değerine sahiptir. 2020 yılında ise yapılan ilişkilendirme sonucunda en yüksek $r^2$ değerine sahip indisler MCARI, VARI ve MSI indisleri olup, değerleri yaklaşık 0,6 civarındadır. Aynı yılda PRI, NDWI ve R/B indisleri oldukça düşük değerler göstermektedir. Genel olarak Şekil 9'a baktığımızda M81-E çeşidinin yeşil ot verimi ile indislerin arasındaki ilişkinin 2019'da daha güçlü olduğunu, ancak 2020'de bu ilişkinin zayıfladığını göstermektedir (Şekil 9).

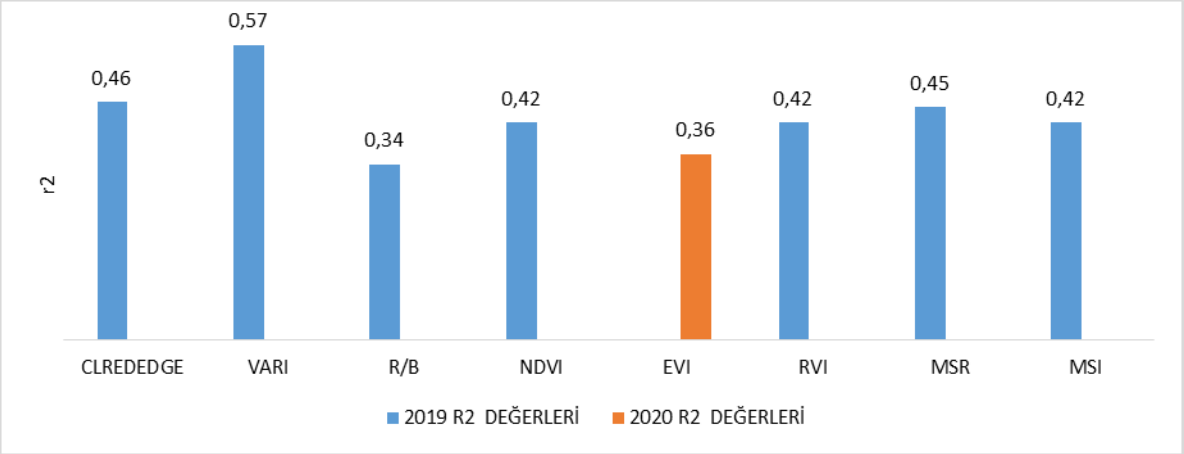


Şekil 10. 2019-2020 yılı Topper-76 çeşidi yeşil ot verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$).

Topper-76 çeşidine ait 2019 ve 2020 yıllarındaki yeşil ot verimi ile indisler arasındaki $r^2$ değerlerine baktığımızda, 2019 yılında en yüksek $r^2$ değerine sahip olan indisler PVI, R/B ve MCARI (yaklaşık 0,3-0,4 civarı) olurken, en düşük değere sahip olan indisler ise CLREDEDGE, NDVI, RVI, MSR ve MSI'dir. 2020 yılında sadece iki indis yeşil ot verim sonuçlarınla ilişkilendirilmiştir. Bunlardan biri klorofil indisi olan MCARI ikincisi ise pigment indisi olan VARI'dir. Sonuç olarak Topper-76 çeşidinde 2019 yılındaki verim ve indisler arasındaki ilişki daha güçlü iken 2020 yılında daha düşüktür (Şekil 10).

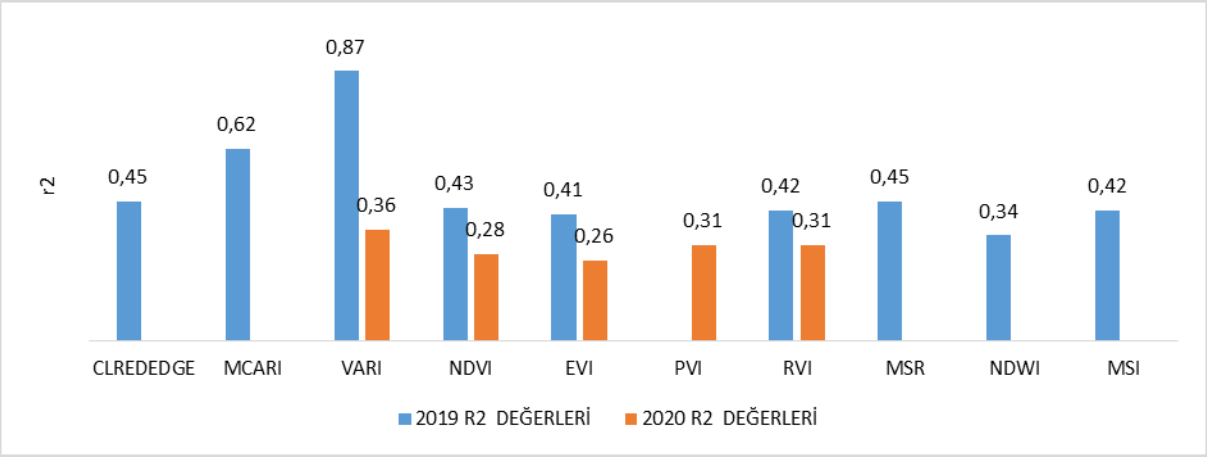
### 7.2. Kuru ot verimleri

2019 ve 2020 yıllarında yetiştirilen sorgum sudan otu (Nutrima ve Nutri Honey) ve şeker sorgumu (M81-E ve Topper-76) çeşitlerinin kuru ot verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayıları Şekil 11,12,13 ve 14'te gösterilmiştir. Yapılan ölçümler ve analizler sonucunda, her iki yılda da M81-E çeşidinde kuru ot verim değerleri ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı yüksek olarak tespit edilmiştir.



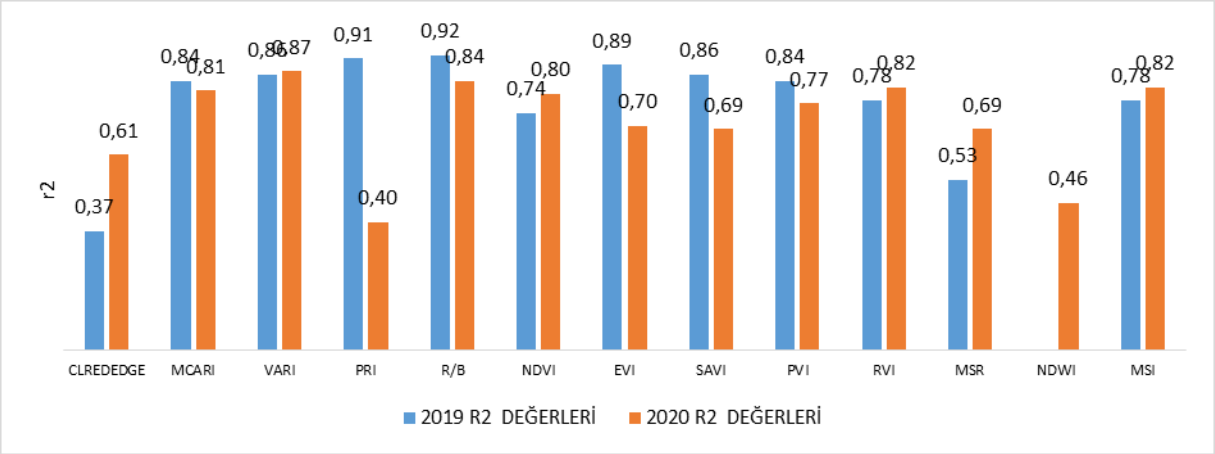

Şekil 11. 2019-2020 yılı Nutri Honey çeşidi kuru ot verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$).

Nutri Honey çeşidinin 2019 ve 2020 yıllarına ait kuru ot verimi ve çeşitli bitki indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayıları Şekil 11'de gösterilmektedir. 2019 yılında en yüksek $r^2$ değeri VARI (0,57) indisinde görülmekte, diğer ilişkilendirilen indislerin $r^2$ değerleri benzer seviyelerde olup yaklaşık 0,4 -0,45 aralığında değişmektedir. R/B en düşük $r^2$ değerine sahiptir (0,34). 2020 yılına ait yalnızca EVI indisi kuru ot verim değerleri ile ilişkili bulunmuştur. $R^2$ değeri ise 0,36 dır. Grafiğe genel olarak baktığımızda, Nutri Honey çeşidinin kuru ot verim değerlerini tahmin etmek için VARI ve NDVI bitki indisleri yüksek belirleme katsayısına sahip olduğundan tercih edilebilir.



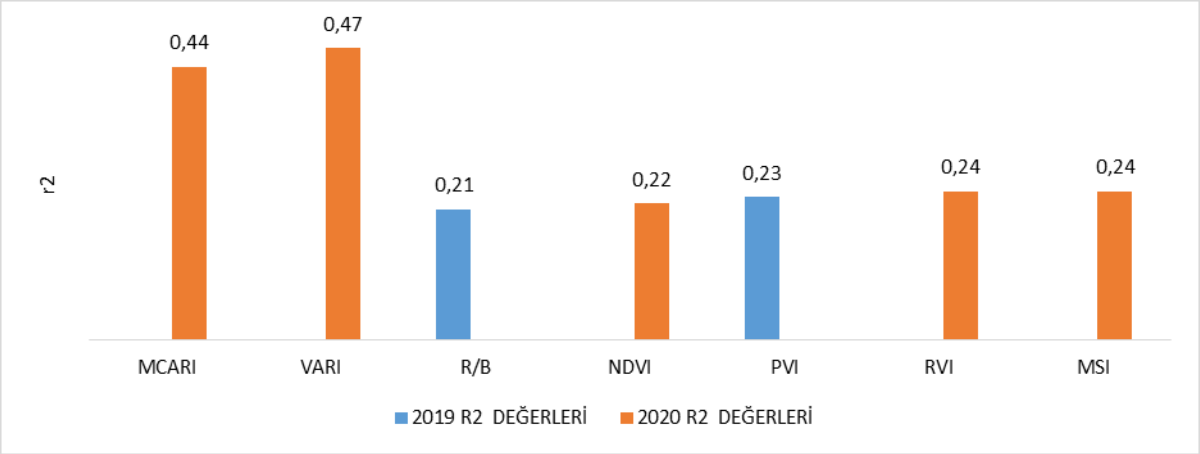

Şekil 12. 2019-2020 yılı Nutrima çeşidi kuru ot verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$).

Nutrima çeşidine ait 2019 ve 2020 yıllarında yapılan ölçüm ve analizler sonucunda kuru ot verim değerleri ile indislerin arasındaki korelasyon belirleme katsayıları Şekil 12'de verilmiştir. VARI indisi 2019 yılında en yüksek $r^2$ değerine sahip olurken, CLREDEDGE, NDVI, EVI ve PVI indisleri nispeten daha düşük değerleri göstermektedir. 2020 yılına ait $r^2$ değerleri genel olarak daha düşüktür fakat VARI indisi bu yılda da en yüksek belirleme katsayısına sahiptir. Nutrima çeşidinde, 2019 yılında genel olarak indisler ile kuru ot verimi arasındaki ilişki daha güçlüdür. 2020 yılında korelasyon belirleme katsayı değerleri düşük seviyede kaldığından, kuru ot verimini tahmin etmede indislerin daha az etkili olduğu söylenebilir.




Şekil 13. 2019-2020 yılı M81-E çeşidi kuru ot verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$).

M81-E çeşidi için kuru ot verim değerleri ile indisler arasındaki ilişki oldukça güçlüdür. Her iki yılda da en yüksek korelasyon belirleme katsayısına sahip indisler PRI, R/B, VARI, EVI ve SAVI'dir. MSR ve NDWI indisleri iki yılda da daha düşük $r^2$ değerlerine sahiptir. CLREDEDGE indisi, 2019 ve 2020 yıllarında en düşük korelasyon belirleme katsayısına sahip olup, kuru ot verimi ile zayıf bir ilişki göstermiştir. 2020 yılında korelasyon belirleme katsayılarında bir miktar azalış olsa da indisler kuru ot verimi ile güçlü bir ilişkiye sahiptir (Şekil 13).

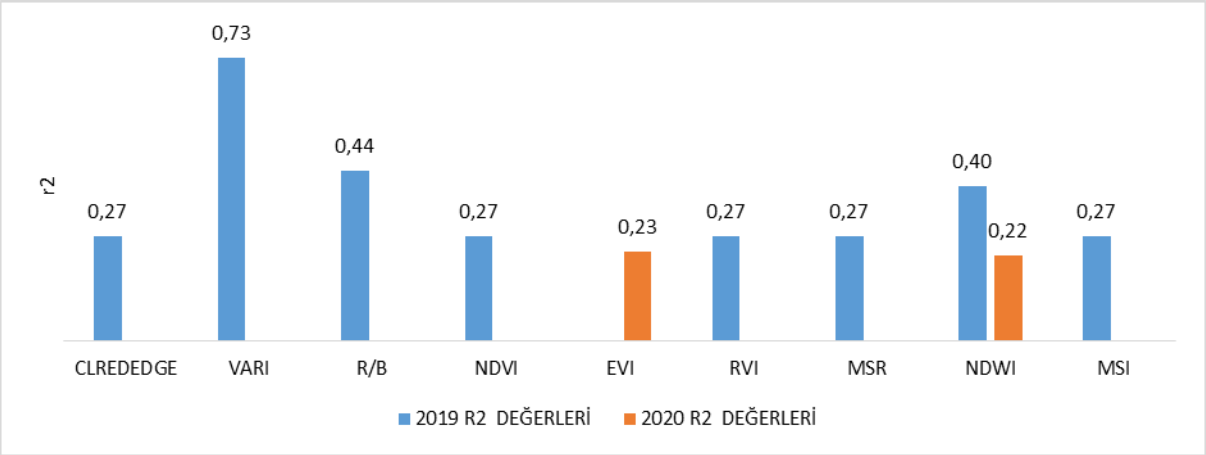



Şekil 14. 2019-2020 yılı Topper-76 çeşidi kuru ot verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$).

Topper-76 çeşidinin kuru ot verim değerleri ile indisler arasındaki ilişki 2019 yılında daha güçlü iken 2020 yılında daha zayıflamıştır. 2019 yılında VARI indisi en yüksek $r^2$ değerine sahipken, en düşük değer ise NDVI indisinde gözlenmiştir. 2020 yılında ise sadece R/B ve PVI bitki indisleri ile kuru ot verim değerleri ilişkilendirilmiştir (Şekil 14).

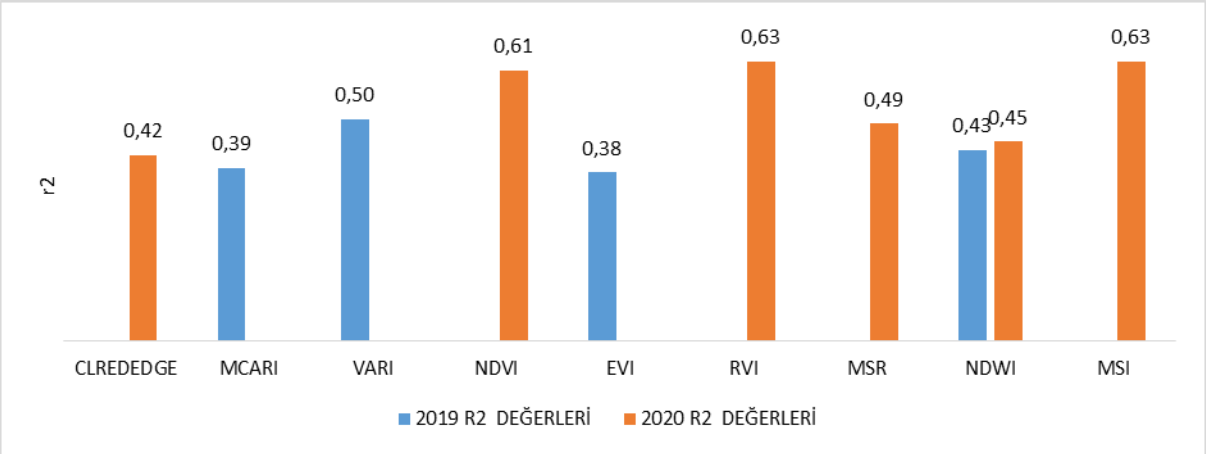
### 7.3. Toprak Üstü Kuru Madde Oranları (%)

2019 ve 2020 yıllarında yetiştirilen sorgum sudan otu ( Nutrima ve Nutri Honey) ve şeker sorgumu ( M81-E ve Topper-76) çeşitlerinin toprak üstü kuru madde oranı ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayıları Şekil 15,16, 17 ve 18'de verilmiştir. Yapılan ölçümler ve analizler sonucunda, her iki yılda da M81-E çeşidinde toprak üstü kuru madde oranı ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısının yüksek olduğu belirlenmiştir.




Şekil 15. 2019-2020 yılı Nutri Honey çeşidi toprak üstü kuru madde oranı ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$).

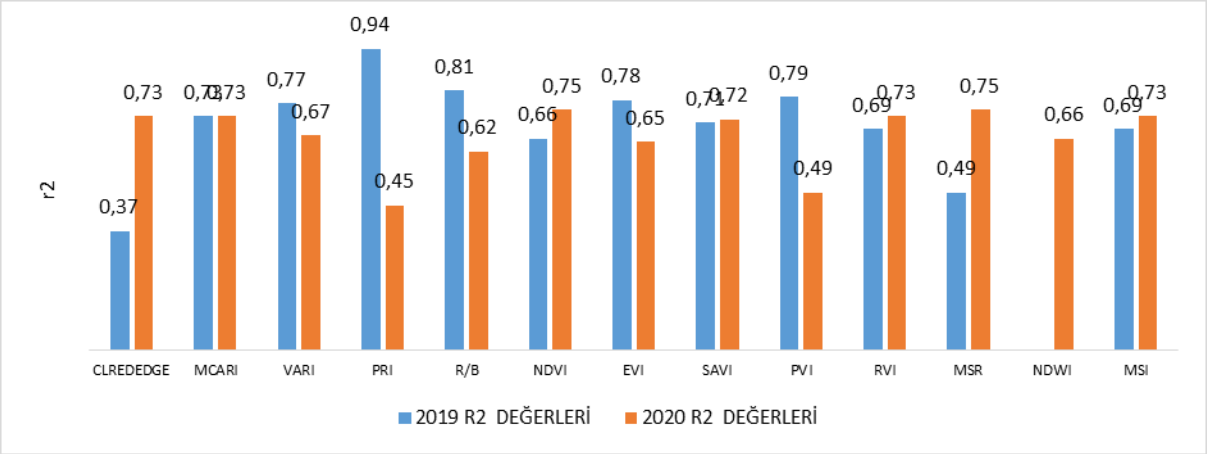
Nutri Honey çeşidinin toprak üstü kuru madde oranı ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerlerine baktığımızda, 2019 yılında en yüksek $r^2$ değerine sahip VARI indisi olurken, en düşük değere sahip indis ise NDVI, RVI ve MSI olmuştur. 2020 yılında toprak üstü kuru madde oranı ile indisler arasındaki ilişki oldukça düşüktür. Sadece toprak üstü kuru madde oranı ile EVI ve NDWI indisleri ilişkilendirilmiştir (Şekil 15).




Şekil 16. 2019-2020 yılı Nutrima çeşidi toprak üstü kuru madde oranı ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$).

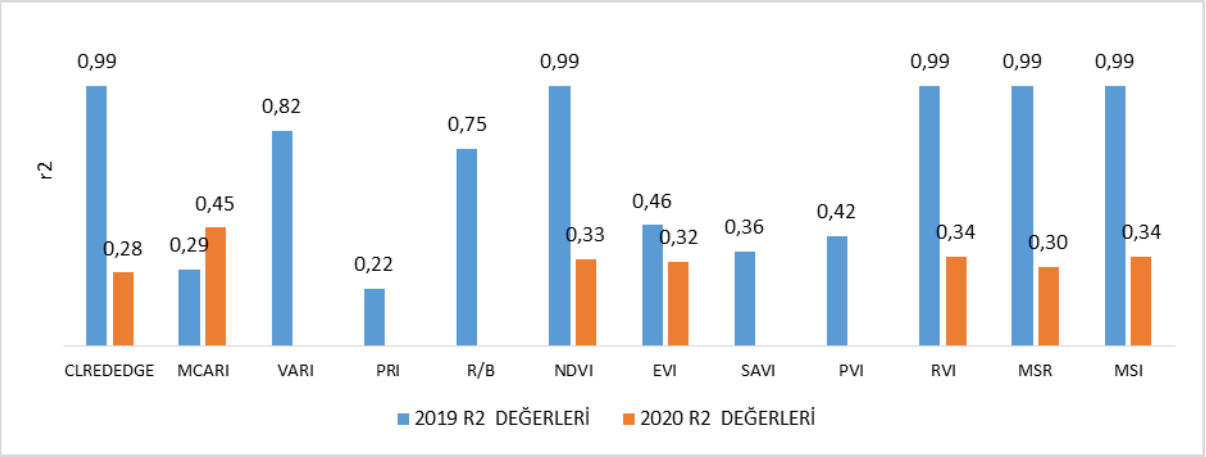
Nutrima çeşidinde indisler ve kuru madde oranları arasındaki ilişkinin yıllara göre değişimine baktığımızda, 2019 yılında en yüksek $r^2$ değerine sahip VARI (0,87) indisi kuru madde oranını tahmin etmede güçlü bir ilişki sağlamaktadır. NDWI (0,34) indisi ise en düşük $r^2$ değerine sahiptir. 2020 yılında bir önceki yıla göre indisler ve kuru madde oranı arasındaki

ilişkiler daha zayıftır. Bu yılda en yüksek $r^2$ değerine sahip indis VARI (0,36) iken, en düşük ise EVI (0,26) indisi olmuştur (Şekil 16).




Şekil 17. 2019-2020 yılı M81-E çeşidi toprak üstü kuru madde oranı ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$).

M81-E çeşidine ait kuru madde oranı ve indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayı değerlerine baktığımızda her iki yılda da bu çeşitte güçlü ilişkilerin olduğu gözlenmektedir. 2019 yılında en yüksek $r^2$ değerine sahip indis PRI (0,94) iken en düşük değere CLREDEDGE (0,37) indisi sahip olmuştur. 2020 yılında ise CLREDEDGE, MCARI ve MSR (0,73) indisleri en yüksek $r^2$ değeri gösterirken, en düşük değeri ise PRI (0,45) indisi göstermiştir. MSI indisi her iki yılda da $r^2$ değerleri birbirine çok yakın olup , tutarlı bir ilişki sergilemiştir. Bu değerler doğrultusunda, 2019 yılında PRI indisi en güçlü tahmin edici gibi görünse de 2020 yılında bu durum tam tersi olmuştur. Bu yüzden CLREDEDGE, MCARI ve MSR indisleri her iki yılda da daha yüksek $r^2$ değerlerine sahip olduğu için M81-E çeşidinin kuru madde oranını tahmin etmede daha güvenilir olabilir (Şekil 17).

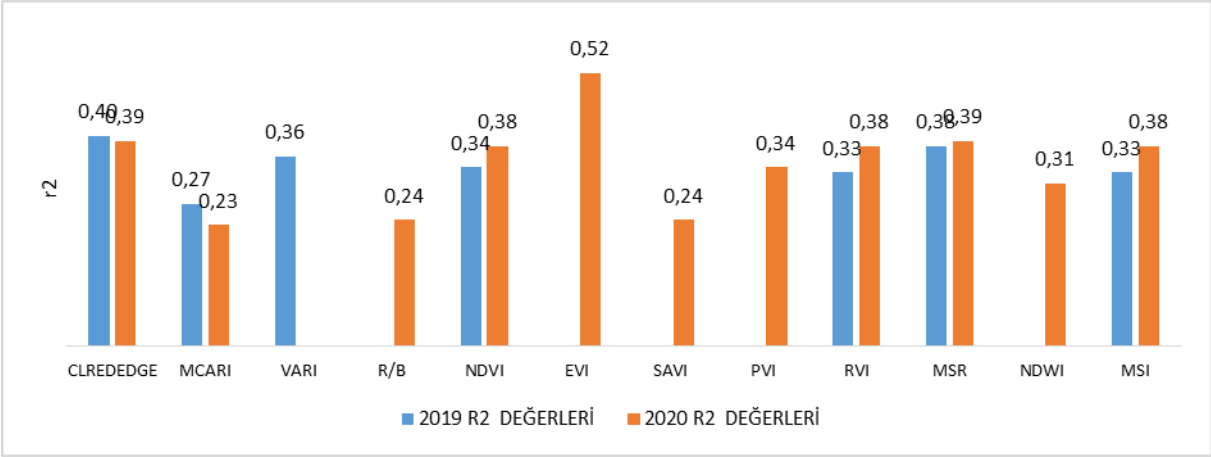



Şekil 18. 2019-2020 yılı Topper-76 çeşidi toprak üstü kuru madde oranı ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$).

Topper-76 çeşidinde yapılan ölçümler ve analizler sonucunda toprak üstü kuru madde oranı ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayıları ilişkisine bakıldığında 2019 yılında CLREDEDGE, NDVI, RVI, MSR, ve MSI indisleri 0,99 değeri ile çok güçlü bir ilişki göstermiştir. Bu indisler bu yılda kuru madde oranını çok iyi tahmin edici olabilirler. PRI (0,22) ve MCARI (0,29) indisleri ise düşük $r^2$ değerlerine sahiptirler. 2020 yılında bütün $r^2$ değerleri düşüş göstermiştir. En yüksek $r^2$ değerine sahip indis MCARI (0,45) olurken, en düşük $r^2$ değerine sahip indis ise CLREDEDGE (0,28) olmuştur (Şekil 18).

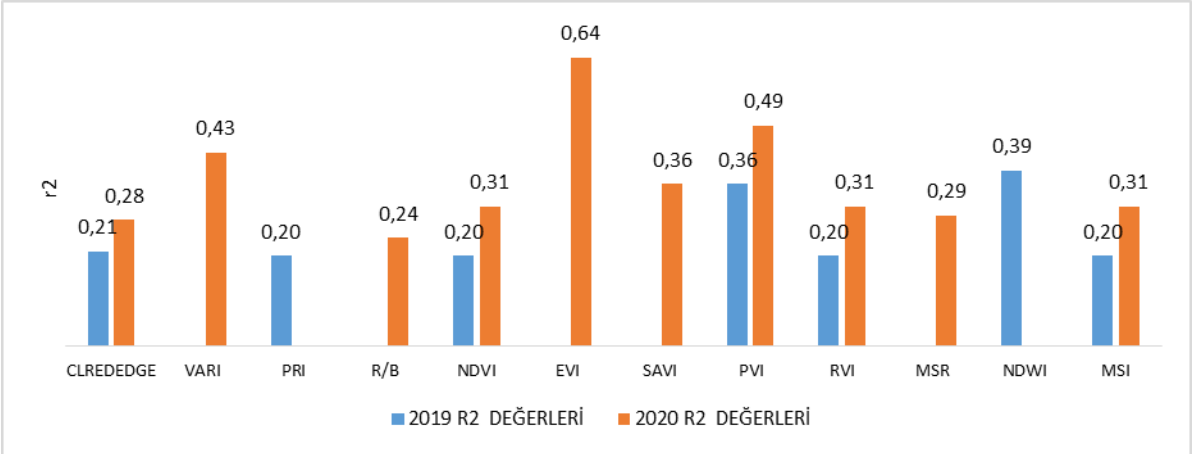
### 7.4. Yaş Kök Verimi (g/bitki)

2019 ve 2020 yıllarına ait sorgum sudan otu (Nutrima ve Nutri Honey) ve şeker sorgumu ( M81-E ve Topper-76) çeşitlerinin yaş kök verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayıları Şekil 19, 20 , 21 ve 22'de verilmiştir. Yapılan ölçümler ve analizler sonucunda, her iki yılda da yaş kök verim değerleri ile indisler arasındaki korelasyon belirme katsayısı Nutri Honey çeşidinde daha yüksek bulunmuştur. Yıllara göre ayrı ayrı baktığımızda ise 2019 yılında güçlü ilişkiler Topper-76 çeşidinde bulunurken, 2020 yılında ise M81-E çeşidinde bulunmuştur.



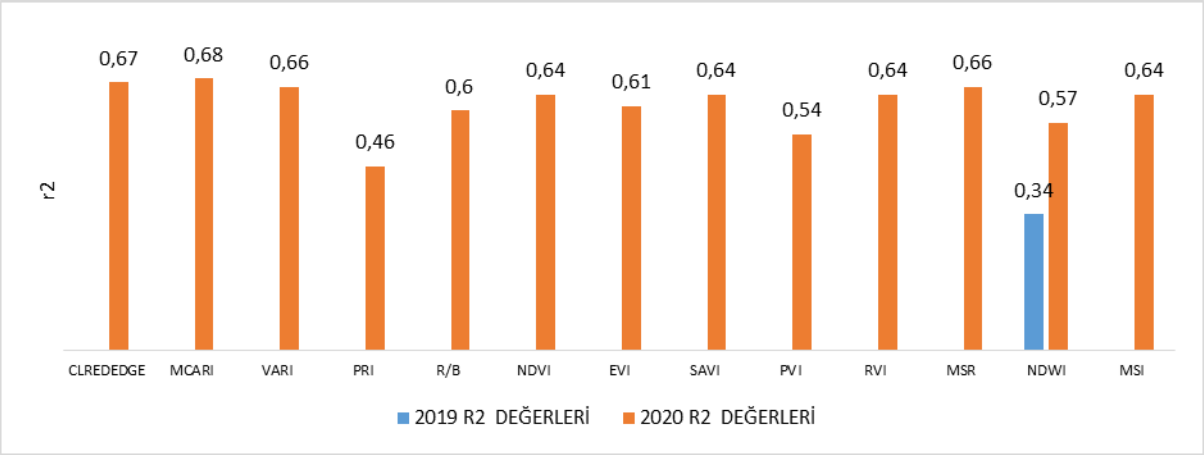

Şekil 19. 2019-2020 yılı Nutri Honey çeşidi yaş kök verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$).

Nutri Honey çeşidinin 2019 yılında yaş kök verim değerleri ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayı değerlerine baktığımızda en güçlü ilişkiyi gösteren indisler CLREDEDGE ve MSR iken 2020 yılında EVI indisi ön plana çıkmıştır. 2020 yılında EVI indisi 2019 yılına göre verim değerlerini daha iyi tahmin edici olmuştur (Şekil 19).



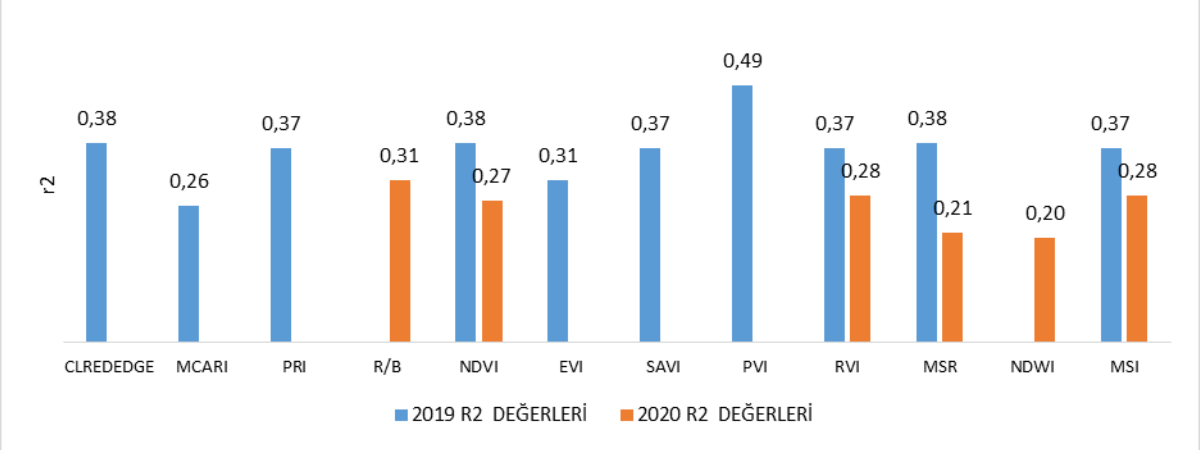

Şekil 20. 2019-2020 yılı Nutrima çeşidi yaş kök verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$).

Nutrima çeşidine ait yaş kök verimi ile bitki indisleri arasındaki ilişkiye baktığımızda, 2019 yılında en yüksek $r^2$ değerine sahip indis PVI (0,36) iken en düşük indisler ise PRI, NDVI ve MSI (0,20)'dir. 2020 yılında EVI (0,64) indisi en güçlü ilişkiyi gösterirken, en zayıf ilişkiyi ise MSI (0,31) indisi göstermiştir. Bu yılda artan $r^2$ değerlerine sahip bitki indisleri yaş kök verimini tahmin etmede daha başarılı olabileceklerini göstermiştir (Şekil 20).




Şekil 21. 2019-2020 yılı M81-E çeşidi yaş kök verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$).

M81-E çeşidinin yaş kök verim değerleri ile bitki indisleri arasındaki ilişkiye baktığımızda 2020 yılında bitki indislerinin yaş kök verim değerlerini tahmin etmede daha güçlü olduklarını göstermektedir. 2019 yılında sadece yaş kök verim değerleri ile ilişkilenen indis NDWI olmuştur. 2020 yılında indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayı değerleri birbirine çok yakın olup 0,46 – 0,68 değerleri arasında değişkenlik göstermiştir. En yüksek $r^2$ değerine sahip indis MCARI (0,68) olurken, en düşük $r^2$ değerine sahip indis ise PRI (0,46) olmuştur (Şekil 21).



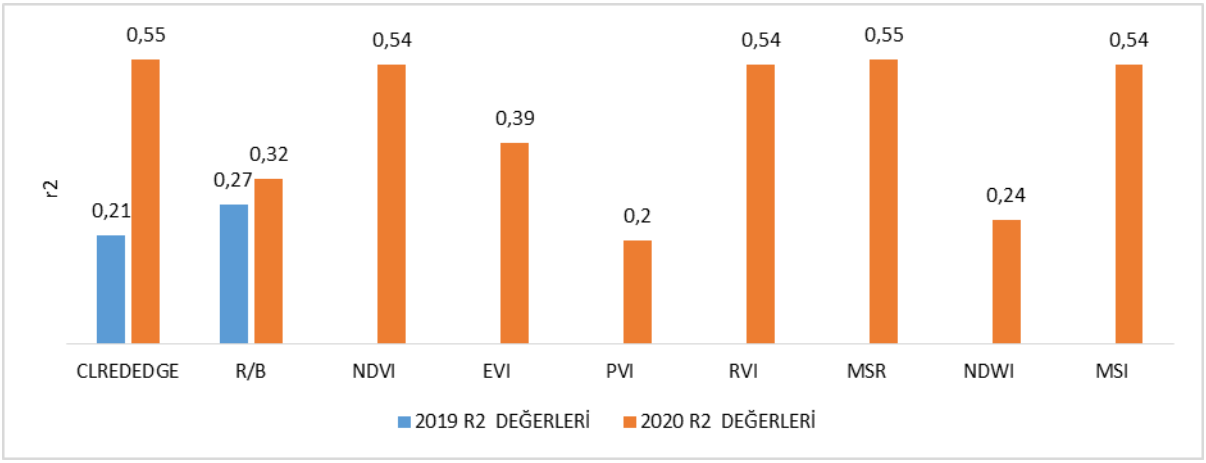

Şekil 22. 2019-2020 yılı Topper-76 çeşidi yaş kök verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$).

Topper-76 çeşidinin 2019 ve 2020 yıllarındaki yaş kök verim değerleri ile bitki indisleri arasındaki korelasyon belirme katsayı değerlerini karşılaştırdığımızda 2019 yılında

en yüksek $r^2$ değerine sahip PVI (0,49) indisi iken , 2020 yılında en yüksek $r^2$ değerine sahip indis R/B (0,31) olmuştur. En düşük $r^2$ değerine sahip indisler 2019 yılında PRI ve MCARI (0,26) iken, 2020 yılında MSI (0,20) indisi en düşük $r^2$ değerine sahiptir (Şekil 22).

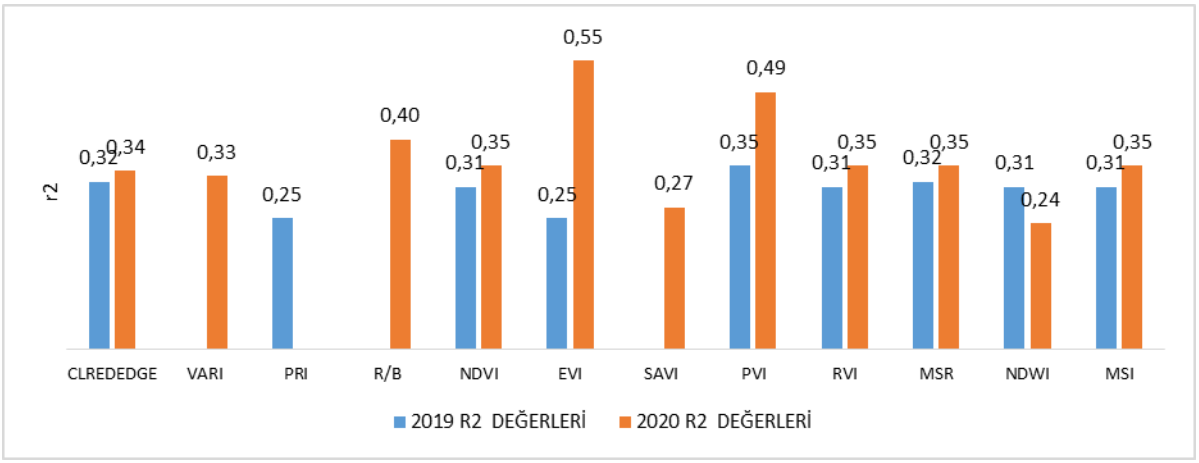
### 7.5. Kuru Kök Verimi (g/bitki)

2019 ve 2020 yıllarına ait sorgum sudan otu (Nutrima ve Nutri Honey) ve şeker sorgumu (M81-E ve Topper-76) çeşitlerinin kuru kök verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayıları Şekil 23, 24 , 25 ve 26'da gösterilmektedir. Yapılan ölçümler ve analizler sonucunda, her iki yılda da kuru kök verim değerleri ile indisler arasındaki korelasyon belirme katsayısı en yüksek M81-E çeşidinde tespit edilmiştir.



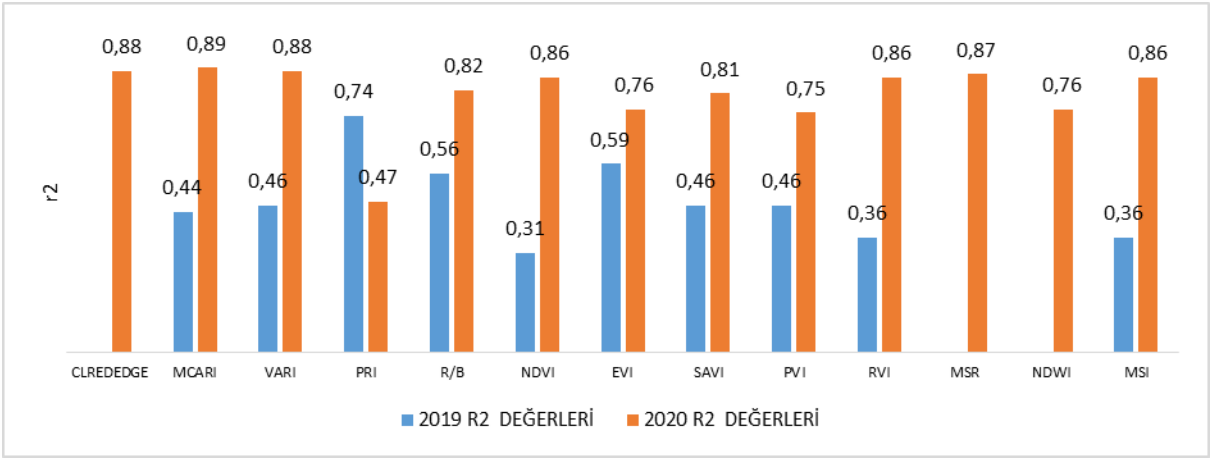

Şekil 23. 2019-2020 yılı Nutri Honey çeşidi kuru kök verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$).

Nutri Honey çeşidine ait 2019 ve 2020 yıllarındaki kuru kök verim değerleri ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayılarına baktığımızda 2019 yılında sadece CLREDEDGE ve R/B indisleri ile ilişki kurulabilmiştir. 2020 yılında ise en yüksek $r^2$ değerine sahip indisler CLREDEDGE ve MSR (0,55) iken, en düşük $r^2$ değerine sahip indis ise PVI (0,20) olmuştur (Şekil 23).




Şekil 24. 2019-2020 yılı Nutrima çeşidi kuru kök verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$).

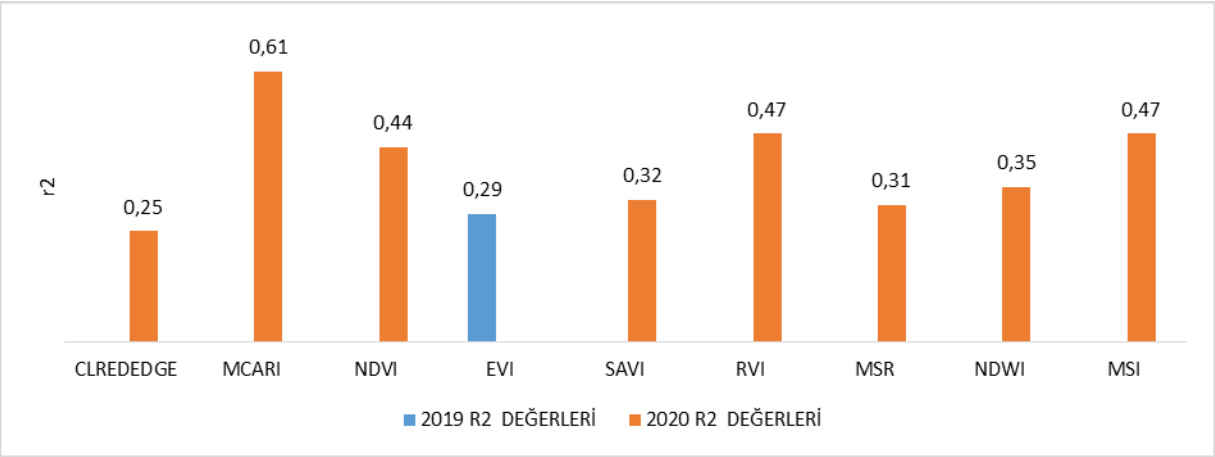
Nutrima çeşidinin kuru kök verimi ile $r^2$ değerleri arasındaki ilişki incelendiğinde, 2019 yılına kıyasla 2020 yılında daha yüksek korelasyonlar gözlemlenmiştir. 2019 yılında en yüksek $r^2$ değerine sahip indis PVI (0,35) olurken, en düşük $r^2$ değerine sahip indisler ise PRI ve EVI (0,25) olmuştur. 2020 yılında ise EVI (0,55) indisi en yüksek $r^2$ değerine sahipken, en düşük $r^2$ değerine sahip indis ise NDWI (0,24)'dır (Şekil 24).




Şekil 25. 2019-2020 yılı M81-E çeşidi kuru kök verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$).

M81-E çeşidine ait kuru kök verimi ile çeşitli bitki indisleri arasındaki $r^2$ değerleri arasındaki ilişkilere baktığımızda ve bu ilişkileri yıllara göre karşılaştırdığımızda 2019 yılında, MCARI (0,74) ve VARI (0,56) indisleri yüksek $r^2$ değerleri gösterirken, RVI (0,36)

ve MSI (0,36) indisleri daha düşük değerler göstermiştir. 2020 yılında ise $r^2$ değerleri önemli ölçüde artmıştır. MCARI (0,89) indisi en yüksek $r^2$ değerine sahip olurken, en düşük $r^2$ değerine ise PRI (0,47) indisi sahip olmuştur (Şekil 25).

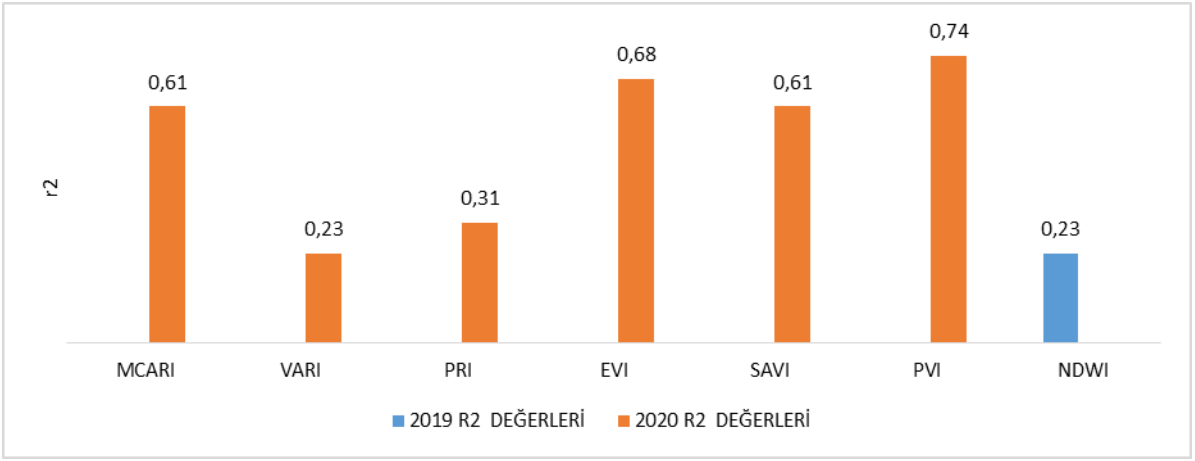



Şekil 26. 2019-2020 yılı Topper-76 çeşidi kuru kök verimi ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$).

Topper-76 çeşidinin 2019 ve 2020 yılları arasındaki kuru kök verimi ile $r^2$ değerleri arasındaki ilişkiyi değerlendirdiğimizde, 2020 yılı bir önceki yıla kıyasla daha güçlü ilişkiler göstermektedir. 2019 yılında sadece EVI indisi ile ilişki kurulabilmiştir. 2020 yılında ise en yüksek $r^2$ değerine sahip indis MCARI (0,61) olurken en düşük değere sahip indis ise CLREDEDGE (0,25) olmuştur (Şekil 26).

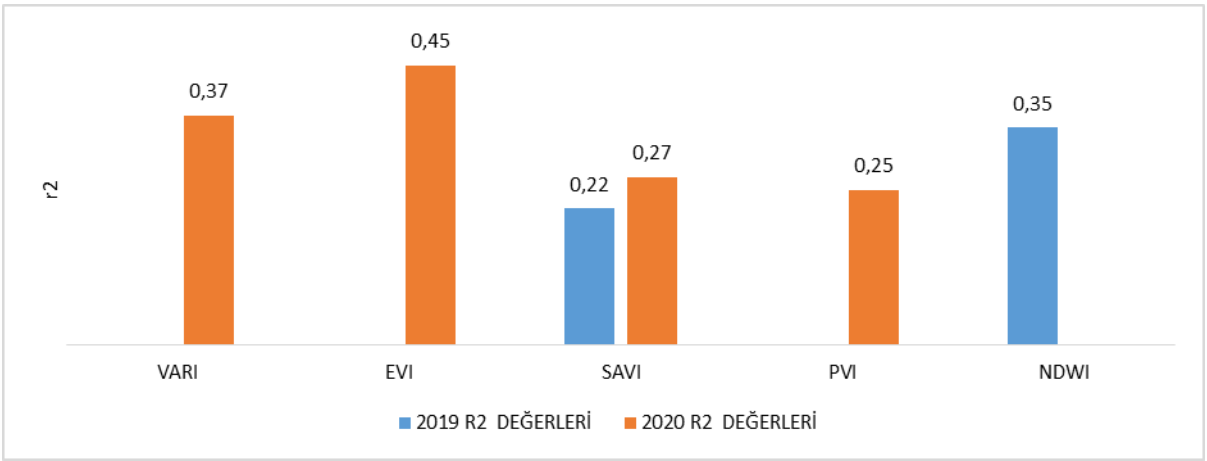
### 7.6. Toprak Altı Kök Kuru Madde Oranları (%)

2019 ve 2020 yıllarında yetiştirilen sorgum sudan otu ( Nutrima ve Nutri Honey) ve şeker sorgumu ( M81-E ve Topper-76) çeşitlerinin toprak altı kök kuru madde oranı ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayıları Şekil 27, 28, 29 ve 30'da verilmiştir. Yapılan ölçümler ve analizler sonucunda, her iki yılda da M81-E çeşidinde toprak altı kök kuru madde oranı ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısının yüksek olduğu belirlenmiştir.




Şekil 27. 2019-2020 yılı Nutri Honey çeşidi kök kuru madde oranı ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$).

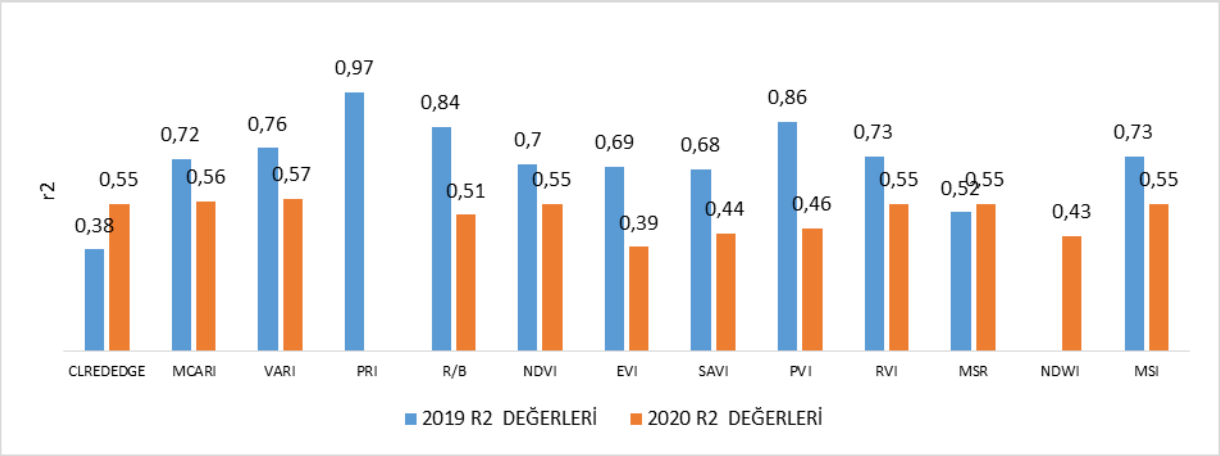
Nutri Honey çeşidinin kök kuru madde oranı ile $r^2$ değerleri arasındaki ilişkinin yıllar arasındaki değişimine baktığımızda , 2019 yılında sadece NDWI (0,23) indisi değerlendirilmiş olup, bu değerini oldukça düşük olması, kök kuru madde oranı ile bu indis arasında zayıf bir ilişki olduğunu göstermektedir. 2020 yılına bakıldığında ise daha yüksek $r^2$ değerleri elde edilmiştir. En yüksek $r^2$ değeri PVI (0,74) indisinde bulunurken , en düşük $r^2$ değeri ise VARI (0,23) indisinde bulunmuştur. Genel olarak, 2020 yılında toprak altı kök kuru madde oranı indislerle daha iyi tahmin edilebildiği görülmektedir (Şekil 27).




Şekil 28. 2019-2020 yılı Nutrima çeşidi kök kuru madde oranı ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$).

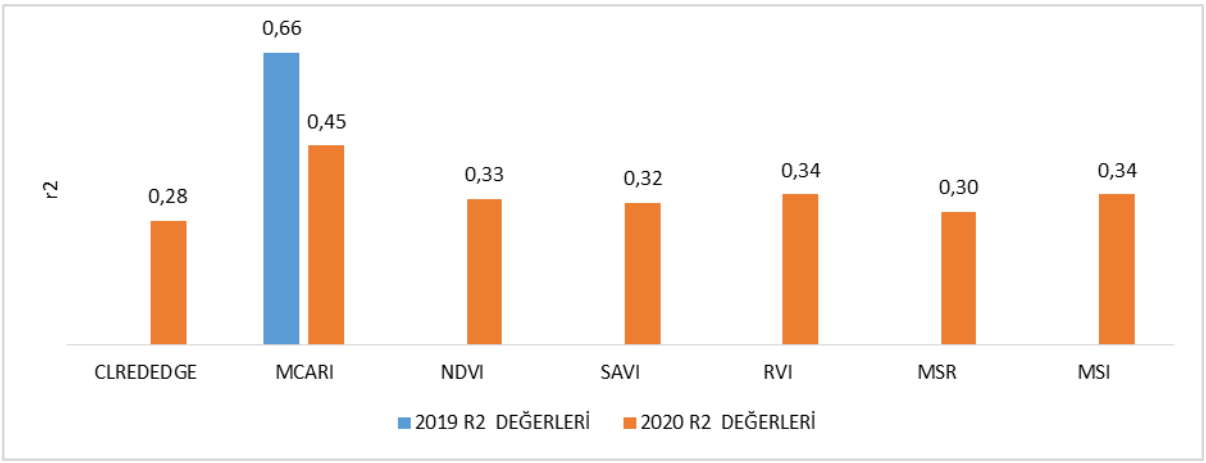
Nutrima çeşidine ait toprak altı kök kuru madde oranı ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayı değerlerine baktığımızda her iki yılda kök kuru madde oranının indisler ile

güçlü bir ilişki göstermediği görülmektedir. 2019 yılında, NDWI (0,35) en yüksek $r^2$ değerine sahipken, SAVI (0,22) en düşük $r^2$ değerine sahip olmuştur. 2020 yılında ise, en yüksek $r^2$ değerine sahip indis EVI (0,45) olurken, en düşük $r^2$ değerine sahip indis ise PVI (0,25) olmuştur (Şekil 28).




Şekil 29. 2019-2020 yılı M81-E çeşidi kök kuru madde oranı ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$).

2019 ve 2020 yıllarında yetiştirilen M81-E çeşidinin toprak atı kök kuru madde oranı ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayı değerlerini karşılaştırdığımızda 2019 yılındaki $r^2$ değerleri daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir. 2019 yılında, PRI (0,97) en yüksek korelasyon değerine sahip olurken, en düşük değere ise CLREDEDGE (0,38) indisi sahip olmuştur. 2020 yılında ise korelasyon katsayılarının genel olarak düştüğü görülmektedir. VARI (0,57) indisi en yüksek $r^2$ değerine sahipken, en düşük değere de EVI (0,39) indisi sahiptir (Şekil 29).




Şekil 30. 2019-2020 yılı Topper-76 çeşidi kök kuru madde oranı ile indisler arasındaki korelasyon belirleme katsayısı değerleri ($r^2$).

Topper-76 çeşidinin kök kuru madde oranı ile çeşitli bitki indisleri arasındaki $r^2$ değerlerini yıllara göre incelediğimizde, 2019 yılında yalnızca MCARI indisi değerlendirilmiş olup, 2020 yılında daha fazla indis ilişkilendirilmiştir. 2019 yılında, MCARI (0,66) indisi kök kuru madde oranı ile orta-yüksek seviyede bir korelasyon göstermiştir. 2020 yılına bakıldığında, en yüksek $r^2$ değerine sahip indis MCARI (0,45) olurken, en düşük $r^2$ değerine sahip indis ise CLREDEDGE (0,28) olmuştur (Şekil 30).

# TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma, şeker sorgumu ve sorgum x sudanotu melezi çeşitlerinin farklı biçim yüksekliklerinde ot verimi ve spektroradyometrik ölçümlerle belirlenen morfolojik ve fizyolojik özelliklerini analiz etmeyi amaçlamıştır. Araştırmanın sonuçları, biçim yüksekliklerinin ve çeşit farklılıklarının yeşil ot, kuru ot ve kök verimleri üzerinde önemli etkiler yarattığını göstermektedir. Özellikle 90 cm ve üzeri biçim yüksekliklerinde ot veriminin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, spektral ölçümlerle bitkisel verim parametreleri arasında güçlü korelasyonlar bulunmuş ve belirli bitki indislerinin verim tahmininde kullanılabilir olduğu ortaya konmuştur.

Bitkilerin gelişimi genel olarak üç evrede gerçekleşir: başlangıçta yavaş bir büyüme gözlenirken, bu dönemden sonra büyüme hız kazanır; gelişmenin son evresinde ise tekrar yavaşlama eğilimi gösterir (Altın ve ark., 2011a). Bu sürecin başlangıcında fotosentetik dokular yeterli seviyede olmadığı için fotosentez ürünleri de daha az üretilmektedir. Ancak büyümenin ilerlemesiyle birlikte fotosentez dokularının artması, bitkinin daha fazla organik madde üretmesini sağlamaktadır. Vejetatif büyüme evresi generatif döneme kadar devam etmektedir. Ancak generatif döneme geçişle birlikte, fotosentezle oluşan ürünlerin yönü değişir; bu ürünler artık kök, gövde ve yaprak gibi vejetatif yapılardan ziyade çiçek ve tohum gibi generatif organlara taşınır (Altın ve ark., 2011a). Bu fizyolojik geçiş, gelişmenin bu aşamasında ot veriminde görülen artışı sınırlamaktadır (Larcher, 1995; Chattha ve ark., 2017). Yürütülen bu çalışmada da benzer bir eğilim gözlemlenmiş; 30 cm biçim yüksekliğinden fizyolojik olgunluk evresine kadar yapılan biçimlerde ot verimi düzenli ve sürekli bir artış göstermiştir. Türkiye'de sorgum ile yürütülen araştırmalarda geniş bir verim aralığı rapor edilmiştir. Örneğin Aydınoğlu ve Çakmakçı (2018), yeşil ot veriminin 4600–8188 kg/da, kuru ot veriminin ise 1187–2037 kg/da arasında değiştiğini belirtmiştir. Bingöl'de yürütülen ve 13 farklı sorgum çeşidinin değerlendirildiği bir çalışmada ortalama yeşil ot verimi 7323,4 kg/da, kuru ot verimi ise 1308,0 kg/da olarak bildirilmiştir (Özmen, 2017). Benzer şekilde Şanlıurfa'da 10.000–11.000 kg/da (Tansı ve ark., 1991), Konya'da 14.641,3–19.038,7 kg/da (Acar ve ark., 2002), Çanakkale'de 2288,8–4716,6 kg/da (Semerci ve Baytekin, 2017), Aydın'da 6730 kg/da (Sürmen ve Kara, 2022) arasında yeşil ot verimleri tespit edilmiştir. Kuru ot verimlerinde ise farklı çalışmalarda 609,5–2840 kg/da arasında değişen değerler kaydedilmiştir (Özmen, 2017; Tosunoğlu, 2014; Çeçen ve ark., 2005; Kara ve ark., 2019; Kır ve Şahan, 2019; Sürmen ve Kara, 2022).

Çeşitler arasında gözlemlenen bu farklılıkların, genetik varyasyonlardan ve çevresel faktörlere karşı verilen tepkilerin farklılığından kaynaklanmaktadır. Nitekim bu araştırmada da genotiplerin verim performansları arasında belirgin farklılıklar ortaya çıkmıştır. Özellikle şeker sorgumu grubunda yer alan Topper-76 çeşidinin, hem yeşil hem de kuru ot verimi açısından diğer çeşitlere kıyasla oldukça düşük sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Araştırmanın bulgularına göre, M81-E şeker sorgumu çeşidi, hem yeşil ot hem de kuru ot verimi açısından en yüksek değerleri elde etmiştir.

Kök sistemi bitkisel üretimde hayati bir işleve sahiptir. Kökler, bitkiye yalnızca su ve besin maddelerini sağlamakla kalmaz; aynı zamanda toprağa sağlam bir şekilde tutunmasını sağlayarak fiziksel destek görevi de görür. Bunun yanında, metabolik faaliyetlerde rol alarak bitkinin fizyolojik işleyişine katkıda bulunur. Kökler ayrıca bitkinin hormonal dengesinde düzenleyici rol üstlenerek büyüme ve gelişme süreçlerinin kontrolüne katılır (Willigen ve Van Noordwijk, 1987; Toure ve ark., 2018). Bir bitkinin kök gelişimi hem çevresel koşullara hem de genetik programına bağlı olarak şekillenir. Vejetatif dönem boyunca köklerin büyüme hızı bitkinin adaptasyon stratejileri doğrultusunda çeşitlilik gösterebilmektedir. Üst aksamın gelişimi ile kök sisteminin büyümesi arasında doğrudan bir ilişki bulunduğu birçok çalışmada ortaya konmuştur (Blaha, 2019). Bitki gelişiminin ilerlemesine paralel olarak kök biyokütlesi de artış göstermektedir (Brown, 1984). Yürütülen bu projede de benzer bir eğilim gözlenmiş; bitki boyundaki artışa paralel olarak hasat zamanında bitki başına kök miktarlarında da belirgin bir artış kaydedilmiştir. İki yıllık ortalama verilere göre, 30 cm yükseklikten biçilen bitkilerin ortalama kök kuru madde miktarı 6,06 g/bitki iken, fizyolojik olgunlukta hasat edilen bitkilerde bu değer 31,70 g/bitki'ye ulaşmıştır. Bu durum, bitki gelişiminin ilerleyen evrelerinde kök sisteminin daha da güçlendiğini göstermektedir. Ayrıca çeşitler arasındaki kök üretim miktarlarında da anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Özellikle şeker sorgumu çeşitleri, sorgum sudanotu çeşitlerine göre daha fazla kök biyokütlesi üretmiştir. Bu varyasyonun temelinde genetik farklılıkların yattığı düşünülmektedir. Bitki çeşitlerinin çevresel uyum kapasitesi ve morfo-fizyolojik özellikleri, kök gelişimini doğrudan etkileyen faktörler arasındadır (O'Toole ve Bland, 1987; Gregory, 1994; Kujira ve ark., 1994; Marschner, 1998; Fageria, 2009; Fageria ve Moreira, 2011).

Spektral indeksler ile verim parametreleri arasındaki ilişkiler değerlendirildiğinde, özellikle NDVI, PRI ve MCARI indekslerinin biyokütle ve besin madde içerikleri ile yüksek korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. Çalışmada, 2019 yılı verim tahminleri, 2020 yılına

kıyasla daha güçlü korelasyon değerleri göstermiştir. Bu durum, yıllık iklim değişkenlikleri ve çevresel faktörlerin spektral ölçümler üzerindeki etkisi olarak yorumlanabilir.

Kullanılan spektral indislerin farklı bitki türleri ve parametreler açısından en iyi sonuç verenleri şu şekilde özetlenebilir:

Yeşil ot verimi açısından en yüksek korelasyonlar M81-E çeşidi için MCARI, VARI ve PVI indislerinde bulunmuştur. Bu indisler, özellikle fotosentetik aktivitenin ve yaprak pigment oranlarının tahmin edilmesinde etkili olmuştur. Kuru ot verimi için M81-E ve Nutrima çeşitlerinde PRI, VARI ve SAVI indisleri yüksek belirleme katsayılarına sahip olmuştur. Bu indisler, bitkinin su içeriği ve fotosentez verimliliğini tahmin etmede başarılıdır. Toprak üstü kuru madde oranı değerlendirmelerinde M81-E çeşidi için PRI ve MCARI indisleri, Nutri Honey ve Nutrima çeşitleri için ise VARI ve NDWI indisleri öne çıkmıştır. Bu indisler, bitkinin besin maddesi birikimini ve su stresine karşı tepkisini ortaya koymada önemli rol oynamaktadır. Kök kuru madde oranı analizlerinde, M81-E ve Topper-76 çeşitlerinde MCARI ve VARI indisleri güçlü korelasyonlar göstermiştir. Kök sisteminin gelişimini tahmin etmek için bu indislerin kullanımı önerilmektedir.

Önceki çalışmalara bakıldığında, spektral indekslerin tarımsal üretimde geniş bir kullanım alanına sahip olduğu görülmektedir. Ferrio ve ark. (2005), buğdayda hiperspektral ölçümler kullanarak verim tahmininde yüksek doğruluk oranları elde etmişlerdir. Köksal ve ark. (2010), taze fasulyede yaprak su potansiyelini belirlemek için spektral ölçümleri kullanmış ve benzer yöntemlerin diğer yem bitkilerine de uygulanabileceğini göstermiştir. İnce ve ark. (2014), kekik alanlarının belirlenmesinde hiperspektral verilerin etkili olduğunu ortaya koymuş, bu yöntemlerin yem bitkileri üretiminde de yaygınlaştırılması gerektiğini vurgulamışlardır. Zhong ve ark. (2019), sudan otu tarımında hiperspektral verilerin kanopi yansıtımı ile bitki büyümesi arasındaki ilişkileri belirlemek için kullanılabileceğini göstermiştir. Ancak, bu çalışmalardan farklı olarak, bizim araştırmamız şeker sorgumu ve sorgum x sudanotu melezi çeşitlerine odaklanmış ve farklı biçim yüksekliklerinin spektroradyometrik ölçümlerle nasıl ilişkilendirilebileceğini detaylı olarak incelemiştir. Önceki çalışmalarda çoğunlukla tek bir bitki türü üzerinde veya laboratuvar ortamında yapılan ölçümler varken, bu araştırmada tarla koşullarında gerçekleştirilen geniş kapsamlı hiperspektral analizler ile bitkilerin gelişim süreçleri ve verim parametreleri daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Ayrıca, farklı spektral indekslerin belirli parametreler için daha uygun olup olmadığı karşılaştırmalı olarak ele alınmış ve tarla ölçeğinde doğrudan uygulanabilir bulgular elde edilmiştir.

Sonuç olarak, araştırma bulguları, şeker sorgumu ve sorgum x sudanotu melezi çeşitlerinin verimlilik açısından uygun biçim yüksekliklerinin belirlenmesinde spektral ölçümlerin önemli bir araç olabileceğini göstermektedir. Çalışmanın sonuçları, özellikle hassas tarım uygulamalarında, bitki gelişim sürecinin uzaktan algılama teknikleri ile takip edilerek optimum hasat zamanlarının belirlenmesine katkı sağlayabilir.

Öneriler:

- Uzaktan algılama tekniklerinin kullanımı, büyük ölçekli tarım alanlarında verim tahminlerini geliştirmek ve hasat planlamasını optimize etmek için yaygınlaştırılmalıdır.
- Çeşit bazında ve farklı ekim alanlarında uzun süreli takip çalışmaları yapılarak, elde edilen spektral verilerin daha geniş alanlarda uygulanabilirliği test edilmelidir.
- İklim değişkenliği ve çevresel faktörlerin spektral ölçümler üzerindeki etkisini daha iyi anlamak için, farklı iklim bölgelerinde benzer çalışmalar yürütülmelidir.
- Şeker sorgumu ve sorgum x sudanotu melezlerinin yem kalitesini artırmaya yönelik ek araştırmalar yapılmalı, spektral ölçümlerle besin değerleri arasındaki ilişkiler detaylı şekilde incelenmelidir.

Sonuç olarak bu çalışma ile şeker sorgumu ve sorgum x sudanotu melezlerinin farklı biçim yüksekliklerindeki verim performanslarını ve spektroradyometrik ölçümlerle belirlenen fizyolojik-morfolojik özelliklerini kapsamlı biçimde ortaya çıkarmıştır. Elde edilen bulgular, hem yeşil ve kuru ot verimi hem de kök biyokütlesi açısından biçim yüksekliği ve çeşit farklılıklarının önemli derecede etkili olduğunu göstermiştir. Özellikle M81-E çeşidi yüksek verim kapasitesi ve spektral indekslerle uyumluluğu ile ön plana çıkmıştır. Hiperspektral ölçümlerin tarla koşullarında farklı bitki indeksleriyle yüksek korelasyon göstermesi bu teknolojilerin yem bitkileri tarımında doğrudan uygulama potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu çalışma farklı spektral indekslerin verim bileşenleriyle olan ilişkisini hem tür hem de parametre bazında değerlendirerek, uzaktan algılama tekniklerinin tarla düzeyinde karar destek mekanizmalarına entegre edilmesine katkı sunacağı düşünülmektedir. Bu yönüyle araştırma, sadece verim analizlerine değil, aynı zamanda dijital tarım uygulamalarının geliştirilmesine ve sürdürülebilir yem üretimi stratejilerinin oluşturulmasına da bilimsel dayanak sağlamıştır.

## KAYNAKLAR


Acar, R., Akbudak, M., Sade, B. 2002. "Konya ekolojik şartlarında silajlık Sorgum-Sudan otu melezlerinin verimleri ile verimi etkileyen bazı özelliklerinin belirlenmesi", Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16(29), 88 - 95.

Altın, M., Gökkuş, A., Koç, A. 2011a. "Çayır ve Mera Yönetimi (Cilt I)", T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü, Ankara, 376p.

Amzallag, G.N., Seligmann, H. 2000. Plant to plant interactions during physiological adaptation to salinity in Sorghum bicolour. Israel Journal of Plant Sciences, 48(4), 247-254.

AOAC, 1990. Official Methods of Analysis (15th Ed.). Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.

Aydınoğlu, B., Çakmakçı, S. 2018. "Farklı lokasyonlarda yetiştirilen sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) bitkisinde biçim devresinin hasıl verimi ve bazı verim ögelerine etkisi", Turk. J. Agric. Res., 5(2), 167-175.

Basumatary, Bwsrang & Dwivedi, Manoj & Verma, Nitesh. 2023. Social Attention Sparked by Highly Cited Research Publications on Women's Empowerment: An Assessment Based on Altmetric Tools.

Baytekin, H., Şılbır, Y. 1996. Harran Ovası sulu koşullarında ikinci ürün olarak yetiştirilen sudanotu ve sorgum-sudanotu melez çeşitlerinde tohumluk miktarının ot verimine etkisi. Türkiye 3. Çayır-Mer'a ve Yembitkileri Kongresi, 17-19 Haziran 1996, Erzurum, 376-383.

Baytekin, H., Tansı, V., Sağlamtimur, T. 1996. Harran Ovası sulu koşullarında ikinci ürün olarak yetiştirilen silaj sorgum çeşitlerinde tohumluk miktarının ot verimi ve bazı tarımsal karakterlere etkisi. Türkiye 3. Çayır-Mer'a ve Yembitkileri Kongresi, 17-19 Haziran 1996, Erzurum, 753-760.

Blaha, L. 2019. Importance of root-shoot ratio for crops production, Agron. Agri. Sci., 2, 12.

Blake, G.R., 1965. Bulk Density Methods of Soil Analysis. Ame. Soc. Agronomy, No: 9, Madison, US, 374-377.

Brown, R.H. 1984. Growth of the green plant. In Physiological Basis of Crop Growth and Development (M. B. Tesar, Ed.), pp. 153–174. American Society of Agronomy and Crop Science Society of America, Madison, WI.

Çamoğlu, G., Aşık, Ş., Genç, L. 2018. Farklı su stresi düzeylerinde yer tabanlı spektral ölçümler ile tatlı mısırın verim tahmini. Çanakkale Onsekiz Mart Üniv. Fen Bilimleri Enst. Derg., 4(2), 186-199.

Çeçen, S., Öten, M., Erdurmuş, C. 2005. Batı Akdeniz sahil kuşağında sorgum, sudan otu ve mısırın II. ürün olarak değerlendirilmesi. Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 18(3), 337-341.

Chattha, M.U., Iqbal, A., Hassan, M.U., Chattha, M.B., Ishaque, W., Usman, M., Ullah, M.A. 2017. Forage yield and quality of sweet sorghum as influenced by sowing methods and harvesting times. Journal of Basic and Applied Sciences, 13, 301-306.

Demirel, K., Camoglu, G., Genç, L., Kizil, U. 2014b. The variation of plant stress indicators and some traits under different irrigation and nitrogen levels in the rocket. Fresenius Environmental Bulletin, 23 (5), 1238-1248.

Demirel, K., Genc, L., Bahar, E., Inalpulat, M., Smith, S., Kizil, U. 2014a. Yield estimate using spectral indices in eggplant and bell pepper grown under deficit irrigation. Fresenius Environmental Bulletin, 23(5), 1232-1237.

Fageria, N.K. 2009. The Use of Nutrients in Crop Plants. CRC Press, Boca Raton, FL.

Fageria, N.K., Moreira, A. 2011. The Role of Mineral Nutrition on Root Growth of Crop Plants. In Donald L. Sparks, editor: Advances in Agronomy, Vol. 110, Burlington: Academic Press, 2011, pp. 251-331. ISBN: 978-0-12-385531-2.

FAOSTAT, 2016. FAO Statistical Database. (http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC), (Erişim tarihi: 12.05.2018).

Ferrio, J.P., Villegas, D., Zarco, J., Aparicio, N., Araus, J.L., Royo, C., 2005. Assessment of durum wheat yield using visible and near-infrared reflectance spectra of canopies. Field Crops Research, 94, 126-148.

Gao, B. 1996. NDWI a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of Environment, 58(3), 257–266.

Genç, S., Baytekin, H., 2015. Tek yıllık bitkilerle oluşturulan yapay mera tesislerinde uygulanan otlatma sistemlerinin meranın verim özellikleri üzerine etkileri. 11. Tarla Bitkileri Kongresi, 7-10 Eylül 2015, Çanakkale, Poster Bildirileri, Cilt II, 3-7.

Getachew, G., Putnam, D.H., De Ben, C.M., De Peters, E.J., 2016. Potential of sorghum as an alternative to corn forage. American Journal of Plant Sciences, 7, 1106-1121.

Giovos, R., Tassopoulos, D., Kalivas, D., Lougkos, N., Priovolou, A., 2021. Remote sensing vegetation indices in viticulture: a critical review. Agriculture, 11, 457.

Gregory, P.J. 1994. Root growth and activity. In Physiology and Determination of Crop Yield. (G. A. Peterson, Ed.), pp. 65–93. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.

Gürsoy, Ö., Atun, R. 2019. Using remote sensing in detecting sugar beet fields treated with different doses of phosphorus. Fresenius Environmental Bulletin, 28, 1247-1253.

İnce, C., Özelkan, E., Kaya, Ş. 2014. Assessment of thyme reduction using multitemporal satellite data and in-situ spectroradiometric measurement: Altioluk Plateau, Kocaeli-Turkey. Fresenius Environmental Bulletin, 23, 3007-3012.

İptaş, S., Brohi, A.R., Aktaş, A., 2001. Sorgum x sudanotu melezinde (*Sorghum vulgare* Pers. x *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.) azotlu gübreleme ve biçim yüksekliğinin verim ve kaliteye etkisi. Tarım Bilimleri Derg., 7(2), 69-74.

Kara, E., Sürmen, M., Erdoğan, H. 2019. Katı biyogaz atığı uygulamalarının sorgum ve sorgum x sudanotu melezi bitkilerinde yem verimi ve kalitesi üzerine etkileri. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi, 5(2), 355-361.

Kı Willigen, D., Noordwijk, V. 1987. Roots, Plant production and nutrient use efficiency. Book, Publisher: Landbouw universiteit te Wageningen; 1987.

Kır, H., Şahan, B.D. 2019. Yield and quality feature of some silage sorghum and sorghum-sudangrass hybrid cultivars in ecological conditions of Kırşehir province. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 6(3), 388-395.

Kızıl, S., Tansı, V. 1997. Çukurova koşullarında ikinci ürün sezonunda yetiştirilen bazı tane ve silaj sorgum (*Sorghum bicolor* L.) çeşitlerinde farklı ekim sıklıklarının verim üzerine olan etkileri. Türkiye II. Tarla Bitkileri Kongresi, 472-476 s, Samsun.

Köksal, E.S., Üstün, H., İlbeyi, A., 2010. Bodur yeşil fasulyenin sulama zamanı göstergesi olarak yaprak su potansiyeli ve bitki su stres indeksi sınır değerleri. Uludağ Üniv. Ziraat Fak. Derg., 24(1), 25-36.

Küçüksemerci, O., Baytekin, H. 2017. Çanakkale koşullarında yetiştirilen şeker sorgumda ekim sıklığının verim ve kalite özelliklerine etkisi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 4(1), 95–100.

Kujira, Y., Grove, J.H., Ronzelli, P. 1994. Varietal differences of root systems in winter-wheat seedlings. Jpn. J. Crop Sci., 63, 524–530.

Lang, B., 2001. Sudan/Sorghum Forage Management. Iowa State Univ. Ext., Fact Sheet BL-50, 6p.

Larcher, W. 1995. Physiological Plant Ecology. Third Edt. Springer-Verlag, Berlin.

Mahmood, A., Honermeier, B. 2012. Effect of row spacing and cultivar on biomass yield and quality of *Sorghum bicolor* L. Moench. J. Für Kulturpflanzen, 64(7), 250-257.

Marschner, H. 1998. Role of root growth, arbuscular mycorrhiza, and root exudates for the efficiency in nutrient acquisition. Field Crops. Res., 56, 203–207.

O'Toole, J.C., Bland, W.L. 1987. Genotypic variation in crop plant root systems. Adv. Agron., 41, 91–145.

Orak, A., Kavdır, İ. 1994. Çiftçi koşullarında yetiştirilen silajlık sorgumda (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) farklı tohumluk miktarı ve sıra arası açıklıklarının verim ve verim unsurlarına etkisi. T.Ü. Tekirdağ Ziraat Fak. Derg., 3(1-2), 139-148.

Özelkan, E., Karaman, M., Candar, S., Coskun, Z., Ormeci, C. 2015. Investigation of grapevine photosynthesis using hyperspectral techniques and development of hyperspectral band ratio indices sensitive to photosynthesis. J. Environ. Biology, 36, 91-100.

Özmen, S. 2017. Bingöl Koşullarında Farklı Sorgum Türlerinin Ot Verimi ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 63s.

Penuelas, J., Llusia, J., Pinol, J., Filella, I. 1997. Photochemical reflectance index and leaf photosynthetic radiation-use-efficiency assessment in Mediterranean trees. Int. J. Remote Sensing, 18(13), 2863-2868.

Salman, A., Budak, B. 2015. Farklı sorgum x sudanotu melezi (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense* Stapf.) çeşitlerinin verim ve verim özellikleri üzerine bir araştırma. Adnan Menderes Üni. Ziraat Fak. Derg.,12(2), 93-100.

Shakir Hanna, S.H., Girmay-Gwahid, B. 1999. Spectral characterization of water stress impact on some agricultural crops: III. Studies on sudan grass and other different crops using handheld radiometer. Proceedings of the SPaIE, 3868, 154-166.

Soil Survey Staff, 1951. Soil Survey Manuel. USDA, Handbook 18, US Govt. Printing Office. Washington DC. USA.

Sürmen, M., Kara., E. 2022. Forage yield and quality performances of sorghum genotypes in mediterranean ecological conditions. ADÜ Ziraat Derg, 19(2), 331-339.

Tansı, V., Ülger, A.C., Sağlamtimur, T., Baytekin, H., Okant, M., Kılınç, M. 1991. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde 1. ve 2. ürün olarak yetiştirilebilecek sorgum tür ve çeşitlerinin saptanması üzerinde araştırmalar. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 39 GAP Yayın No: 66, 44.

Tosunoğlu, S. 2014. Yozgat şartlarında ana ve ikinci ürün olarak yetiştirilebilecek sorgum, sudan otu ve sorgum sudan otu melez çeşitlerinin belirlenmesi. Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 75s.

Toure, C.F.B., Diallo, A.G., Toure, A.O., Toure, A. 2018. Study of the root system of local and ımproved sorghum cultivars grown in Mali. Asian Journal of Advances in Agricultural Research, 7(3), 1-10.

Tucker, C.J. 1980. Remote sensing of leaf water content in the near infrared. Remote Sensing of Environment, 10(1), 23-32.

TÜİK, 2019. Tarım İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara.

Uzun, F., Çiğdem, İ. 2005. Yemlik kocadarı ve kocadarı-sudan otu melezleri. Ondokuz Mayıs Üni. Ziraat Fak. Derg., 20(2), 66-72.

Yücel, C., İlker, İ., Gündel, F., Yücel, D., Aktaş, A., Karaağaç, H.A., Hatipoğlu, R., Dweikat, İ. 2017. Biyoetanol üretiminde kullanılmış tatlı sorgum saplarının silaj kalite özelliklerinin belirlenmesi. KSÜ Doğa Bil. Derg., 20(Özel Sayı), 144-148.

Zhong, X., Wang, J., Tao, L., Sun, C., Li, Z., Liu, S. 2019. Growth and spectral characteristics of grassland in response to different soil textures. Computer and Computing Technologies in Agriculture XI. Eds.: Li, D., Zhao, C. Springer International Publishing, 31-44.