

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

ÖNSÖZ

“GEE platformu üzerinden Sentinel-2 görüntüleriyle pirinç bitkisinin fenolojik parametrelerinin belirlenmesi: İpsala ve Gönen örneği” başlıklı bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programında bir yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez çalışmam boyunca hiçbir desteğini esirgemeyen ve bilim insanı olma yolundaki ilk adımlarımı atarken kıymetli bilgileriyle ve tecrübesiyle yolumu aydınlatan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Esra TUNÇ GÖRMÜŞ’e teşekkürlerimi sunarım.

Yapıcı eleştirileri ve önerileri ile tezime büyük katkıları bulunan saygıdeğer hocalarım Sayın Doç. Dr. Volkan YILMAZ’a ve Sayın Doç. Dr. Özlem AKAR’a teşekkür ederim.

Tez çalışması sürecinde bana desteklerini esirgemeyen Harita Mühendisliği Bölümündeki tüm değerli hocalarıma ve asistan arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım. Son olarak doğduğum günden beri elimi hiç bırakmayan, hayatım boyunca aldığım tüm kararlarda bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ve her kararında arkamda olan maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan annem Ayşe ŞİMŞEK ve babam Adnan ŞİMŞEK’e, teşekkür eder, minnettarlığımı sunarım.

Bu tez çalışmasının bundan sonraki çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Aleyna ŞİMŞEK
Trabzon, 2025

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “GEE platformu üzerinden Sentinel-2 görüntüleriyle pirinç bitkisinin fenolojik parametrelerinin belirlenmesi: İpsala ve Gönen örneği” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doc. Dr. Esra TUNÇ GÖRMÜŞ’n sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 08/01/2025

Aleyna ŞİMŞEK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLO DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Literatür Çalışması.....	1
1.2. Problemin Tanımı.	6
1.3. Çalışmanın Amacı.....	7
1.4. Metodoloji.....	8
1.5. Kullanılan Yöntem ve Araçlar	9
1.5.1. Uydu Görüntüsü	9
1.5.2. Google Earth Engine Yazılımı.....	10
1.5.3. DaTimeS (Decomposition and Analysis of Time Series Software).....	12
1.6. Kullanılacak Bitki Tespiti	13
1.7. Çalışma Alanı.....	15
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	20
2.1. Google Earth Engine Üzerinden Piriç Alanlarının Tespit Edilmesi.....	20
2.2. Yıllara Ait Görüntülerin Elde Edilmesi İşlemi	21
2.3. Görüntülere NDVI, EVI ve LAI Endekslerinin Uygulanması	23
2.4. Endeks Eğilimlerinin Grafikleştirilmesi	31
2.5. Kesin Piriç Alanlarının Belirlenmesi ve ROI Maske Oluşturulması.	41
2.6. DATimeS’da Zaman Serisi Grafikleri ve Fenoloji Modellerinin Oluşturulması.....	42
2.6.1. Savitzky-Golay (S-G) Smoothing Yöntemi	43
2.6.2. Gaussian Process Regression (GPR).....	43
2.6.3. Kernel Ridge Regression (KRR).....	45
2.6.4. Spline Method	46

2.7. Zaman Serisi Trend Analizi Grafiklerinin Oluşturulması.....	53
2.8. Meteorolojik Veriler.....	58
2.9. Meteorolojik ve Zamansal Veriler Arasındaki İlişki.....	64
3. BULGULAR	66
4. TARTIşMA	70
5. SONUÇLAR.....	71
6. ÖNERİLER	72
7. KAYNAKÇA.....	73
ÖZGEÇMİş	

ÖZET

GEE PLATFORMU ÜZERİNDEN SENTİNEL-2 GÖRÜNTÜLERİYLE PİRİNÇ BİTKİSİNİN
FENOLOJİK PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ: İPSALA ve GÖNEN ÖRNEĞİ

Aleyna ŞİMŞEK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Esra TUNÇ GÖRMÜŞ
2025, 77 Sayfa

Dünya nüfusu artmaya devam ettikçe gıdaya olan talep de artmaktadır. Pirinç, dünyanın en çok tüketilen ve üretilen tahıllarından biridir. Tarım alanlarının izlenmesi tarımsal alanların sürdürülebilirliği açısından çok önemlidir.

Bu çalışma da çalışma alanı olarak Edirne'nin İpsala ilçesi ve Balıkesir'in Gönen ilçesi sınırları içindeki pirinç tarlaları seçilmiştir. Google Earth Engine (GEE) platformu ve MATLAB eklentisi bir yazılım aracı olan Zaman Serisi Ayırıştırma ve Analiz (DATimeS) yazılımı kullanılarak bu alanlardaki pirincin fenolojik evreleri (ekim ve hasat tarihleri) tahmin edilmeye çalışılmıştır. Uydu görüntüsü olarak, Sentinel-2 görüntüleri kullanılmıştır. 2020-2021-2022 tarihlerine ait iki bölge için ayrı ayrı 36 görüntü toplamda 72 görüntü kullanılmıştır. Çalışmamız da ilk olarak pirinç alanlarına ait Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü Endeksi (NDVI), Geliştirilmiş Bitki Örtüsü Endeksi (EVI) ve Yaprak Alanı Endeksi (LAI) endeksleri oluşturulmuştur.

Uygulamadaki görüntülerin analizinde enterpolasyon ve fenoloji aşamalarından yararlanılmıştır. Çalışma da enterpolasyon yöntemi olarak Gauss Süreç Regresyonu (GPR) kullanılmıştır. GPR enterpolasyonu uygulanarak elde edilen görüntülere fenolojik işlem adımı uygulanmıştır. Fenolojik modeller ve fenolojik takvim tabloları oluşturulmuştur.

Çalışma sonuçları, oluşturulan fenolojik evre tahminlerinin, Trakya Araştırma Enstitüsü'nden temin edilen kontrol verileriyle tutarlı olduğunu göstermiştir. Özellikle ekim ve hasat tarihlerinin tahmininde, LAI endeksinin diğer endekslere kıyasla daha doğru sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Bu araştırma, pirinç tarımına yönelik fenolojik evre analizlerinde etkili bir metodolojik yaklaşım sunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Pirinç, Fenolojik Özellikler, Zamansal Seri Analizi, Sentinel-2

Master Thesis

SUMMARY

DETERMINATION OF PHENOMENOLOGICAL PARAMETERS OF RICE PLANT WITH
SENTINEL-2 IMAGES ON GEE PLATFORM: THE EXAMPLE OF IPSALA AND GONEN

Aleyna ŞİMŞEK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Map Engineering Program
Supervisor: Assoc. Prof. Esra TUNÇ GÖRMÜŞ
2025, 77 Pages

As the global population continues to grow, the demand for food also increases. Rice is one of the most consumed and produced cereals in the world. Monitoring agricultural lands is crucial for the sustainability of agricultural areas.

In this study, the rice fields within the boundaries of the İpsala district of Edirne and the Gonen district of Balıkesir were selected as the study area. Using the Google Earth Engine (GEE) platform and a software tool called Time Series Decomposition and Analysis (DATimeS), the phenological stages (planting and harvest dates) of rice in these areas were predicted. Sentinel-2 images were used as satellite imagery. A total of 72 images, 36 for each region from the years 2020, 2021, and 2022, were used. Initially, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Enhanced Vegetation Index (EVI), and Leaf Area Index (LAI) indices were created for the rice fields in the study.

In the analysis of the images, interpolation and phenological stages were utilized. The Gaussian Process Regression (GPR) method was used as the interpolation method. After applying GPR interpolation, the phenological processing step was performed on the obtained images. Phenological models and phenological calendar tables were created.

The results of the study showed that the predicted phenological stages were consistent with the control data obtained from the Trakya Research Institute. Particularly in the prediction of planting and harvest dates, it was determined that the LAI index provided more accurate results compared to other indices. This research offers an effective methodological approach for phenological stage analysis in rice farming.

KeyWords: Rice, Phenological Features, Temporal Series Analysis, Sentinel 2

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Metodoloji diyagramı	8
Şekil 2.	Türkiye de pirincin bölgelere göre dağılımı	16
Şekil 3.	Edirne ve Balıkesir de pirinç ekim alanları(km^2)	17
Şekil 4.	Edirne ve Balıkesir de pirinç üretim miktarları (ton)	17
Şekil 5.	Edirne, İpsala İlçesi konum haritası	18
Şekil 6.	Balıkesir, Gönen İlçesi konum haritası	19
Şekil 7.	CLC üzerindeki arazi örtüsü sınıfları (Gönen)	20
Şekil 8.	CLC üzerindeki arazi örtüsü sınıfları (İpsala)	20
Şekil 9.	Gönen İlçesi uydu görüntüsünden görünümü	21
Şekil 10.	Belirlenen alana ait görüntülerin seçilmesi (Gönen)	22
Şekil 11.	İpsala İlçesi uydu görüntüsünden görünümü	22
Şekil 12.	Belirlenen alana ait görüntülerin seçilmesi (İpsala)	22
Şekil 13.	Gönen 2020-2021-2022 yıllarına ait NDVI görüntüleri (yeşil alan=pirinç alanı, turuncu alan=ekilmeyen alan ve kırmızı alan=toprak alanı)	24
Şekil 14.	Gönen 2020-2021-2022 yıllarına ait NDVI görüntüleri (yeşil alan=pirinç alanı turuncu alan=ekilmeyen alan ve kırmızı alan=toprak alanı)	25
Şekil 15.	Gönen 2020-2021-2022 yıllarına ait EVI görüntüleri (yeşil alan=pirinç alanı, turuncu alan=ekilmeyen alan ve kırmızı alan=toprak alanı)	26
Şekil 16.	Gönen 2020-2021-2022 yıllarına ait EVI görüntüleri (yeşil alan=pirinç alanı, turuncu alan=ekilmeyen alan ve kırmızı alan=toprak alanı)	27
Şekil 17.	Gönen 2020-2021-2022 yıllarına ait LAI görüntüleri (yeşil alan=pirinç alanı, turuncu alan=ekilmeyen alan ve kırmızı alan=toprak alanı)	29
Şekil 18.	Gönen 2020-2021-2022 yıllarına ait LAI görüntüleri (yeşil alan=pirinç alanı, turuncu alan=ekilmeyen alan ve kırmızı alan=toprak alanı)	30
Şekil 19.	Gönen 2020 EVI eğilimi	31
Şekil 20.	Gönen 2021 EVI eğilimi	32
Şekil 21.	Gönen 2022 EVI eğilimi	32
Şekil 22.	Gönen 2020 LAI eğilimi	33
Şekil 23.	Gönen 2021 LAI eğilimi	33
Şekil 24.	Gönen 2022 LAI eğilimi	34
Şekil 25.	Gönen 2020 NDVI eğilimi	35

Şekil 26. Gönen 2021 NDVI eğilimi	35
Şekil 27. Gönen 2022 NDVI eğilimi	35
Şekil 28. İpsala 2020 LAI eğilimi.....	36
Şekil 29. İpsala 2021 LAI eğilimi.....	37
Şekil 30. İpsala 2022 LAI eğilimi.....	37
Şekil 31. İpsala 2020 EVI eğilimi.....	38
Şekil 32. İpsala 2021 EVI eğilimi.....	38
Şekil 33. İpsala 2022 EVI eğilimi.....	38
Şekil 34. İpsala 2020 LAI eğilimi.....	39
Şekil 35. İpsala 2021 LAI eğilimi.....	40
Şekil 36. İpsala 2022 LAI eğilimi.....	40
Şekil 37. ROI(a),ortalama ve standart sapma(b) gösterimi (Gönen)	41
Şekil 38. ROI(a),ortalama ve standart sapma(b) gösterimi (İpsala)	42
Şekil 39. Enterpolasyon sonucu oluşturulan NDVI zaman serisi grafikleri	47
Şekil 40. Enterpolasyon sonucu oluşturulan EVI zaman serisi grafikleri	48
Şekil 41. Enterpolasyon sonucu oluşturulan LAI zaman serisi grafikleri	48
Şekil 42. İki mevsim için %0 bağıl genlik kullanılarak gösterilen fenolojik metrikleri....	49
Şekil 43. EVI 2020-2021-2022 fenolojik göstergeler grafikleri.....	50
Şekil 44. LAI 2020-2021-2022 fenolojik göstergeler grafikleri.....	51
Şekil 45. NDVI 2020-2021-2022 fenolojik göstergeler grafikleri	52
Şekil 46. EVI zaman serisi ve doğrusal trend grafiği (Gönen).....	53
Şekil 47. LAI zaman serisi ve doğrusal trend grafiği (Gönen).....	54
Şekil 48. NDVI zaman serisi ve doğrusal trend grafiği (Gönen).....	55
Şekil 49. NDVI zaman serisi ve doğrusal trend grafiği (İpsala).....	56
Şekil 50. EVI zaman serisi ve doğrusal trend grafiği (İpsala).....	57
Şekil 51. LAI zaman serisi ve doğrusal trend grafiği (İpsala).....	58
Şekil 52. Aylık ortalama nispi nem (%) (İpsala).....	59
Şekil 53. Aylık ortalama sıcaklık (°C) (İpsala).....	60
Şekil 54. Aylık toplam yağış (mm=kg÷m ²) (İpsala).....	61
Şekil 55. Aylık ortalama nispi nem (%) (Gönen)	62
Şekil 56. Aylık ortalama sıcaklık (°C) (Gönen).....	63
Şekil 57. Aylık toplam yağış (mm=kg÷m ²) (Gönen).....	64

TABLO DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Sentinel-2 uydu görüntülerine ait tarihler (İpsala)	9
Tablo 2. Sentinel-2 uydu görüntülerine ait tarihler (Gönen)	10
Tablo 3. Pirinç bitkisini büyüme evreleri)	15
Tablo 4. Görüntülere uygulanan GPR, KRR, Spline Enterpolasyonlarının Sonuçları	47
Tablo 5. DAtimeS yazılımından elde edilen pirinç fenoloji takvimi (İpsala).....	66
Tablo 6. Yıllara göre en iyi sonuç veren indeksler (İpsala).....	67
Tablo 7. DAtimeS yazılımından elde edilen pirinç fenoloji takvimi (Gönen)	67
Tablo 8. Yıllara göre en iyi sonuç veren indeksler (Gönen).....	68

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CLC	: Corine Arazi Örtüsü Sınıflandırması
DATimeS	: Zaman Serisi Ayırıştırma ve Analiz Yazılımı
DEM	: Sayısal Yükseklik Modeli
EoF	: Çerçeve Sonu (End of Frame)
ESA	: Avrupa Uzay Ajansı
EVI	: Geliştirilmiş Bitki Örtüsü Endeksi
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
GCP	: Yer Kontrol Noktası (Ground Control Point)
GEE	: Google Earth Engine, uydu veri analizi platformu
GPR	: Gaussian Süreç Regresyonu
IRRI	: Uluslararası Pirinç Araştırma Enstitüsü
KRR	: Kernel Ridge Regresyonu
LAI	: Yaprak Alanı Endeksi
MAE	: Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error)
MLRA	: Makine Öğrenimi Regresyon Algoritmaları
MODIS	: Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi
NDVI	: Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü Endeksi
NDWI	: Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi
NIR	: Yakın Kızılötesi Bant (Near-Infrared)
PPI	: Bitki Fenolojisi Endeksi
R ²	: Belirleme Katsayısı (R-squared)
RGB	: Kırmızı, Yeşil, Mavi Bantları
RMSE	: Kök Ortalama Kare Hatası (Root Mean Square Error)
ROI	: Analiz Alanı (Region of Interest)
SAR	: Sentetik Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar)
S-G	: Savitzky-Golay Yumuşatma Yöntemi
SNAP	: Sentinel Uygulama Platformu, uydu veri işleme yazılımı
SWIR	: Kısa Dalga Kızılötesi (Short-Wave Infrared)
TIRS	: Termal Kızılötesi Sensör
TUİK	: Türkiye İstatistik Kurum

1. GENEL BİLGİLER

Tarım arazilerinin verimli bir şekilde korunması ve etkin bir kullanımının sağlanması için modern teknoloji sıklıkla devreye girmekte, bu bağlamda uzaktan algılama yöntemleri özellikle önem kazanmaktadır. İleri teknoloji kullanılarak geliştirilen sensörler, tarım arazilerini ve üzerlerindeki bitki örtüsünü algılayarak arazilerin tanımlanması ve bitkilerin durumunun analiz edilmesi konusunda önemli bir katkı sağlamaktadır. Ayrıca, tarımsal üretim süreçlerinde kritik bir yol oynayan bitkilerin fenolojik özelliklerinin detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Fenoloji gözlemleri sayesinde, özellikle erken olgunlaşan bitki türlerini tespit edebilmek ve erken ya da geç meydana gelen don olaylarından etkilenmeyecek türleri seçebilmek mümkündür. Zararlılar ve bitki hastalıkları ile yapılabilecek tarımsal mücadelenin zamanının belirlenmesi, yeni kurulacak orman bölgelerinin seçimi, bölgelere göre yetiştirilecek kültür bitkilerinin belirlenmesi vb. tüm tarımsal meteoroloji problemlerinde, fenoloji gözlemleri ile daha elverişli ve sağlıklı sonuçlar elde edilebilir (Şimşek vd., 2014). Bu yaklaşımlar, tarımsal verimliliği arttırırken aynı zamanda doğal kaynakların korunmasına da katkıda bulunur.

Bu alanda yapılan çalışmaların analizinde uzaktan algılama görüntü ve teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Son zamanlarda en popüler platformlardan biri olan Google Earth Engine, bu alanda sıklıkla tercih edilmektedir.

Fenolojik parametrelerin belirlenmesi aşaması, GEE üzerinden elde edilen uzaktan algılama verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada GEE üzerinden elde edilen veriler DATimeS programı ile işlenerek pirinç bitkisinin fenolojik takvimine ulaşılmıştır.

1.1. Literatür Çalışması

Çalışma da yapılması amaçlanan konu için geniş çaplı bir literatür taraması yapıldı. Bu literatür taraması sonucunda konu için yol gösterecek çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

Bu çalışma da Boschetti vd., (2009), Po Nehri alüvyon ovasında uzaktan algılama uydu verilerinin pirinç kırpma sistemleri hakkında fenolojik bilgi sağlamaya katkısının değerlendirilmesi üzerinde durmuşlardır. Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi (MODIS) Normalleştirilmiş Fark Bitki Endeksi (NDVI) 16 günlük kompozitlerin 5 yıllık

(2001-2005) zaman serisi, sezon başlangıcı, sezon zirve ve sezon sonu gibi önemli fenolojik bilgileri otomatik olarak almak amacıyla TIMESAT programı kullanılmıştır. Uzaktan algılama tahminleri, doğrudan pirinç çiftçilerinden elde edilen ekili çeşitlilik, ekim tarihleri, yönetim ve üretimle ilgili bilgiler kullanılarak değerlendirilmiştir (Boschetti vd., 2009).

Bir başka çalışma da Kim vd., (2012), Güney Kore’de yapılan çalışmada uzaktan algılama, ürün alanlarını tanımlamak ve ürün durumunu tespit etmeyi amaçlamışlardır. Fenolojik gelişimlerini tespit etmek için Güney Kore’deki pirinç tarlalarının çok zamansal spektral özellikleri incelenmiş ve durum analizi belirlenmiştir. Bu pirinç tarlaları kompakt, küçük ölçekli arazi parselleridir. Analiz için, orta çözünürlüklü görüntüleme 2011 yılında elde edilen spektrometre (MODIS) ve RapidEye görüntüleri kullanılmıştır. Farklı yıllık spektral eğilimler mahsul türleri, nispeten düşük uzamsal çözünürlükte olmasına rağmen, yüksek zamansal çözünürlüğü nedeniyle MODIS verileri kullanılarak tespit edilebilmiştir. Pirinç tarlalarının tam anlamıyla tespiti için NDVI indisi kullanılmıştır. Bu araştırma sonucunda RapidEye uydusundan alına görüntülerle yapılan çalışmalar da pirinç fenolojisinin daha iyi belirlenebildiği tespit edilmiştir (Kim vd, 2012).

Nurgyen vd., (2015), çalışmalarında fenolojik parametreleri çıkararak pirinç mahsul alanlarını belirlemek için otomatik bir yöntem sunmuşlardır. Yöntem, ENVISAT Gelişmiş SAR (ASAR) Geniş Alan (WS) modu verilerinin zaman serisini kullanarak Kızıl Nehir Deltası (RRD), Vietnam’da bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırılmış pirinç tarlalarının toplam alanı, Vietnam’daki resmi istatistikler tarafından verilen toplam pirinç ekim alanlarına karşılık gelmiştir. Sonuçlar, optimal geliş açısı normalizasyonunda geri saçılım zaman serilerini kullanarak fenoloji tabanlı bir sınıflandırma yaklaşımının uygulanmasının yüksek sınıflandırma doğrulukları elde edebileceğini göstermiştir. Yöntem Kızıl Nehir Deltası’ndaki pirinç tarlalarının büyük ölçekli erken haritalanması için yararlı olmakla kalmaz, aynı zamanda diğer pirinç ekim alanları için de uygulanabilir bulunmuştur (Nurgyen vd, 2015).

Bu çalışma da, Zeng vd., (2016), zaman serisi, çok spektralli uydu verileri kullanarak bitki fenolojik ölçümlerin çıkarılmasını inceleyen bir çalışmadır. Farklı fenolojik özelliklerin çıkarılması için kullanılan yöntemleri ve bu yöntemlerin avantajları ve dezavantajları incelenmiştir. Fenolojik özelliklerin çıkarılması için kullanılan üç ana yöntemi ele almıştır: ampirik yöntemler, eğri uydurma yöntemleri ve simülasyon tabanlı yöntemler. Sonuç olarak, uydu verilerinin bitki fenolojik özelliklerinin çıkarılması için

önemli bir araç olduğunu ve uydu verilerinin kullanımının bitki fenolojik özelliklerinin izlenmesi için önemli bir potansiyele sahip olduğunu belirtmiştir (Zeng vd., 2016).

Bu çalışma da, Karkauskaite vd., (2017), Bitki Fenolojisi Endeksi (PPI), Kuzey Yarımküre boreal ormanlarında sezon başlangıcını (SOS) tahmin etmek için NDVI ve EVI gibi geleneksel yöntemlerden daha başarılı bir performans göstermiştir. PPI, mevsimsel kar örtüsü ve herdem yeşil iğne yapraklı ormanlardaki düşük mevsimsel gibi zorlukları aşarak, 2000-2014 yılları arasında MODIS verileri kullanılarak yapılan analizlere yer ölçümleriyle daha güçlü bir korelasyon ($r=0.50$, $p<0.001$) sağlamıştır. SOS tahminlerinde tüm endeksler benzer erkenleşme eğilimleri gösterirken (PPI: 0.28, NDVI:0.23, EVI:0.26), PPI, yaprak döken geniş yapraklı ormanlar ve savanlar gibi belirli arazi örtülerinde daha doğru ve anlamlı sonuçlar sunmuştur. Bu çalışma, PPI'nin boreal bölgelerde fenolojik analizler için daha güvenilir bir araç olduğunu ortaya koymuştur (Karkauskaite vd., 2017).

Boschetti vd., (2017), PhenoRice adlı algoritma ile, pirinç yetiştirme sistemlerinin temel zamansal tanımlarını türetmek için güvenilir bir yaklaşım sunmuşlardır. Bu algoritma, pirinç ekim yoğunluğu, mahsul oluşum tarihi ve çiçeklenme tarihi gibi önemli zamansal özellikleri haritalayabilen bir model kullanarak bu bilgileri elde etmiştir. Algoritma daha sonra veriyi analiz etmeyi sağlayan bir yöntemle dayandırılarak bu parametrelerle ilgili erken uyarılar oluşmasını sağlamıştır (Boschetti vd., 2017).

Dineshkumar vd., (2019), Hindistan'ın Tamil Nadu Karur ilçesinde pirinç alanlarının fenolojik yapısını inceleyerek pirincin fenolojik evrelerini (sezon başlangıç, sezon zirve ve sezon bitiş) analiz etmişlerdir. Zaman serisi analizi, Eylül ve Aralık 2018 arasında tüm MODIS Terra/Aqua 16 günlük Bitki Örtüsü Endeksleri L3 250 m (MOD13Q1 ve MYD13Q1) verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hindistan'ın Tamil Nadu kentinin Karur bölgesinde pirinç fenolojik aşamalarını izlemek için Google Earth Engine (GEE) platformunu kullanılmıştır. Zaman serisi verilerinin minimum EVI değerinden doğrudan ekim tarihini tahmin etmek için bir inceleme yapılmıştır. Tahmini ekim tarihi, saha araştırma noktalarıyla iyi bir uyum içinde sonuç vermiştir (Dineshkumar vd, 2019).

Bir başka çalışma da Sukojo vd.,(2019), Bojonegoro, Doğu Java eyaletindeki pirinç tarlalarında çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Hesaplama için NDVI ve MSAVI endeksleri kullanılmıştır. Büyüme evresini belirlemek için Landsat 8 uydu görüntülerini kullanarak uzaktan algılama teknolojisini ve pirincin üretkenliğini tahmin etmek için Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama tahmin modellerini entegre ederek, geniş alan kapsamı ile tekrarlanan ve sürekli izleme için bir çözüm ve kolaylık sağlamaya

çalışılmıştır. MSAVI algoritmaları kullanılarak pirinç bitkilerinin dokuz fazlı büyümesini belirlemek için en iyi modelin elde edildiği sonucuna varılmıştır (Sukojo vd, 2019).

Bu çalışma da, Narin ve Abdikan (2020), Sentinel-2 uydusundan elde edilen verilerden yararlanılarak ayçiçeği bitkilerinin gelişim evrelerini takip edilmiş ve verimlerine ilişkin öngörülerde bulunulmuştur. On ayrı ürün endeksinin incelenmesi sonucunda ayçiçeği veriminin tahmin edilmesinde en doğru ve etkili sonuçların NDVI endeksi tarafından verildiği belirlenmiştir. Ayrıca tarlalardan hasat edilen tohum miktarı, verim tahmininde güvenilir bir kriter olarak kullanılabileceği anlaşılmıştır. Sentinel Uygulama Platformu (SNAP) yardımıyla gerçekleştirilen verilerin analizi, vektör dosyaları kullanılarak alan sınırlarının seçilmesini ve piksel örneklerinin tanımlanmasını içermiştir (Narin & Abdikan, 2020).

Bu çalışma da, çok zamanlı optik uydu görüntüleri (Sentinel-2, Landsat) ve bitki örtüsü endeksleri kullanılarak buğday bitkisinin fenolojik evreleri (çimlenme, çiçeklenme, olgunlaşma) izlenmiştir. Çalışmada, ENVI ve ERDAS IMAGINE yazılımları kullanılarak çok bantlı uydu görüntüleri işlenmiş ve bitki örtüsü endeksleri hesaplanmıştır. Ayrıca, QGIS veya ArcGIS gibi coğrafi bilgi sistemleri yazılımları, uydu verilerinin görselleştirilmesi ve haritalanması için kullanılmıştır. Verim tahmin modeli geliştirilirken, Matlab veya Python programlarında analiz ve modelleme süreçlerinde etkili bir şekilde kullanılmıştır. Verim tahmin modeli oluşturulmuş ve çiçeklenme evresinde bitki örtüsü endeksleri ile verim arasında yüksek bir korelasyon bulunmuştur. Bu çalışma, uydu görüntülerinin buğday üretimini izleme ve verim tahmini açısından etkili olduğunu göstermiştir (Kaya, 2020).

Dela Torre vd., (2021), GEE platformunun Sentinel-2 verileriyle birlikte kullanılmasıyla, Filipinler'deki bir eyaletteki pirinç ve pirinç dışı bölgeler arasında ayırım yapmak için bir zaman serisi metodolojisi uygulamışlardır. Bu araştırmanın bulguları, Sentinel-2'nin spektral indeksler ve zamansal kompozitler kullanarak SAR tabanlı araştırmalarla karşılaştırılabilir sonuçlar üretebildiğini göstermiştir. Özellikle bu çalışma, üst atmosfer yansıma ürününün incelenmesi için GEE Veri Kataloğundan alınan Sentinel-2 verilerinin kullanımına özellikle vurgu yapmıştır (Dela Torre vd., 2021).

Çalışma, Yang vd., (2021), pirinç bitkisinin yerel ikili desen ve varyans özelliklerinden (LBP ve VAR) gelen doku bilgisini Vegetation Index (VI)'den gelen spektral bilgiyle birleştirerek Yaprak Alan Endeksi (LAI) tahmin doğruluğunu geliştirmek için yeni bir yöntem önermiştir. Hainan ve Hubei'deki iki çalışma alanının çok zamanlı

görüntüleri, spektrum ve dokudaki değişiklikleri analiz etmek için kullanılmıştır. Salkım görünümüne daha az duyarlı olan ve doygunluk sorununu biraz zayıflatan pirinç LAI'sini tahmin etmek için yeni endeksler oluşturuldu. Spektral ve doku özelliklerinin kombinasyonu, pirinç LAI'sini tahmin etmede VI'dan daha iyi tahmin yeteneği olduğunu göstermiştir (Yang vd., 2021).

2018 yılı boyunca alınan çok zamanlı Sentinel-2 optik uydu görüntüleri, Mardin ili Kızıltepe ilçesindeki tarımsal ürünlerin tespiti için analiz edilmiştir. Görüntü işleme ve sınıflandırma algoritmaları (örneğin, NDVI ve makine öğrenimi yöntemleri) kullanılarak bölgedeki tarımsal ürün türleri belirlenmiştir. Sentinel-2 optik verilerinin işlenmesi ve sınıflandırılması için ENVI yazılımı kullanılmıştır. QGIS veya ArcGIS gibi coğrafi bilgi sistemleri yazılımları da tarımsal ürünlerin tespiti ve haritalama işlemleri için kullanılmıştır. Ayrıca, Google Earth Engine platformu da kullanılarak bölgesel tarımsal ürünlerin izlenmesi sağlanmıştır. Sınıflandırmanın genel doğruluk oranı %96.35, kappa katsayısı ise %93.13 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, Sentinel-2 verilerinin tarımsal ürün tespiti için yüksek bir doğruluk sunduğunu göstermektedir (Altun & Türker, 2021).

Çalışma Delgado vd., (2022), GEE bulut platformunda mahsul özelliklerini ve arazi yüzeyi fenolojisi ölçümlerini almaya yönelik bir iş akışı sunmuştur. Hibrit GPR alma modellerinin oluşturulmasını, bu modellerin GEE'ye taşınmasını, uzay-zamansal olarak sürekli haritalar ve zaman serileri oluşturulmasını ve Arazi Yüzey Olasılığı (LSP) ölçümlerinin hesaplanmasını içeren uçtan uca bir işlem zinciri önermiştir. İş akışı İspanya'nın Kastilya ve Leon kentinde başarıyla uygulanmış ve mahsul takvimi verileri ve NDVI referans ürünleriyle karşılaştırılmıştır. En hassas LSP metriği türetme, gerçekçi mahsul gelişimi için en uygun strateji olabilecek laiCab olmuştur. Çoklu referans veri kümelerini kullanarak hiperparametrenin ön hesaplama sağlamlığını ve genel geçerliliğini değerlendirmiştir. Çalışma, küresel ölçekte niceliksel ve mekansal-zamansal olarak sürekli ürün fenolojisi bilgilerinin otomatik olarak türetilmesine yönelik bir yol haritası sunmuştur (Delgado vd., 2022).

Bu çalışma da, Sentinel-1 SAR uydu görüntüleri kullanılarak pirinç tarlalarının ekim ve hasat tarihleri arasındaki süreç, geri saçılma değerleri üzerinden analiz edilmiştir. Radar verileri, zaman serisi bazında incelenerek farklı tarım dönemlerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Sentinel-1 SAR verilerinin işlenmesi için SNAP yazılımı kullanılmıştır. Ayrıca, uydu verilerinin görselleştirilmesi ve haritalanması için QGIS veya ArcGIS gibi coğrafi bilgi sistemleri yazılımları kullanılmıştır. Verilerin analizinde ve modelleme

süreçlerinde Matlab veya Python gibi programlar da kullanılarak, zaman serisi verilerinden elde edilen sonuçların daha detaylı bir şekilde incelenmesi sağlanmıştır. Sonuç olarak, ekimden sonraki ilk 35 gün boyunca geri saçılma değerlerinin en düşük seviyede olduğu ve hasat zamanı yaklaştıkça bu değerlerin yükseldiği belirlenmiştir. Bu bulgular, pirinç gelişimini izlemek için güçlü bir gösterge sağlamaktadır (Polat vd., 2022).

Son olarak başka bir çalışma da, Orusa vd., (2023), çalışma Algoritması, Sezon Başlangıcı, Sezon Sonu ve Sezon Uzunluğu gibi fenolojik ölçümleri haritalamak ve dünya çapındaki dağlık bölgelerde Sezonun zirvesini tespit etmek için Landsat ve Sentinel-2'den gelen yüksek çözünürlüklü uydu verilerini kullanmıştır. Doğrulama, greenbrown ve MODIS kullanılarak yapılmış ve MAE ve RMSE hesaplanmıştır. Bu sağlamlık, dünya çapındaki dağlık bölgelerdeki yüksek çözünürlüklü ücretsiz EO verilerinden fenolojik ölçümlerin hesaplanmasına olanak tanımıştır (Orusa vd., 2023).

1.2. Problemin Tanımı

Tarım alanlarının etkin yönetimi ve işlenmesi, tarımsal üretimin sürdürülebilirliği ve verimliliği açısından stratejik bir öneme sahiptir. Tarımsal üretimde başarının sağlanabilmesi için, bitkilerin gelişim süreçlerinin düzenli olarak izlenmesi ve detaylı analizler sonucu sağlıklı üretim planlarının geliştirilmesi gerekmektedir. Bu sürecin hızlı, doğru ve az maliyetli etkin bir biçimde gerçekleştirilmesini sağlayan başlıca yöntemlerden biri, modern uzaktan algılama teknolojilerinin kullanılmasıdır.

Uzaktan algılama yöntemleri, geliştirilmiş sensörler ve uydu sistemleri aracılığıyla tarım alanlarının daha detaylı, doğru ve hızlı bir biçimde tespit edilmesini ve analiz edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu yöntemlerin kullanımı ile bitkisel gelişim süreçleri izlenebilmekte; hastalıklar, su stresi gibi unsurlar anlık olarak tespit edilerek gerekli müdahaleler yapılabilmektedir. Ayrıca, çeşitli bitki indeksleri yardımıyla tarım alanları, ormanlık bölgeler ve bitki örtüsü daha hassas bir biçimde analiz edilmekte ve bu sayede bitkisel üretim daha etkin bir şekilde yönetilebilmektedir.

Dünya genelinde önemli bir tahıl ürünü olarak kabul edilen pirinç, birçok ülke de fenolojik süreçler açısından kapsamlı biçimde incelenmiştir. Bu araştırmalar da, uzaktan algılama yoluyla ekim alanlarının zamansal değişimleri analiz edilmiştir. Böylece, tarım arazilerinin kontrollü ve planlı bir şekilde kullanımı ve bu arazilerde sürdürülebilir üretim hedeflenmiştir.

Ancak, yapılan incelemeler Türkiye’de pirinç üretimi üzerine yeterli sayıda kapsamlı çalışmanın gerçekleştirilmediğini ortaya koymuştur. Pirinç, ülkemizde yüksek tüketim oranına sahip temel bir gıda maddesi olmasına rağmen, bu alanda sınırlı sayıda bilimsel araştırma yapılmış olması, bu önemli ürün üzerine daha fazla araştırmanın yapılması gerekliliğini göstermiştir. Ayrıca, bu araştırmaların sonuçlarının dikkatle analiz edilmesi, hem üretim alanlarının verimli kullanımı hem de pirinç üretim süreçlerinin iyileştirilmesi açısından kritik bir role sahiptir. Bu bağlamda, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) gibi teknolojilerin kullanımıyla elde edilecek bulgular, Türkiye’de pirinç tarımı ve genel olarak tarım politikaları için değerli bir yol gösterici olabilir.

Bu araştırma ihtiyacının karşılanması, ülkemizde tarım sektörünün geliştirilmesi ve gıda güvenliğinin sağlanmasına yönelik katkılar sunacaktır.

1.3. Çalışmanın Amacı

Bu çalışma da, Türkiye’nin önemli tarımsal üretim alanlarından olan Edirne’nin İpsala ilçesi ve Balıkesir’in Gonen ilçesi sınırları içinde, 2020-2021-2022 yılları arasında yetiştirilen pirinç bitkisinin fenolojik özelliklerini detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışma kapsamında, bu bölgelerde yetişen pirinç bitkisinin ekim, olgunlaşma ve hasat evreleri değerlendirilmiştir.

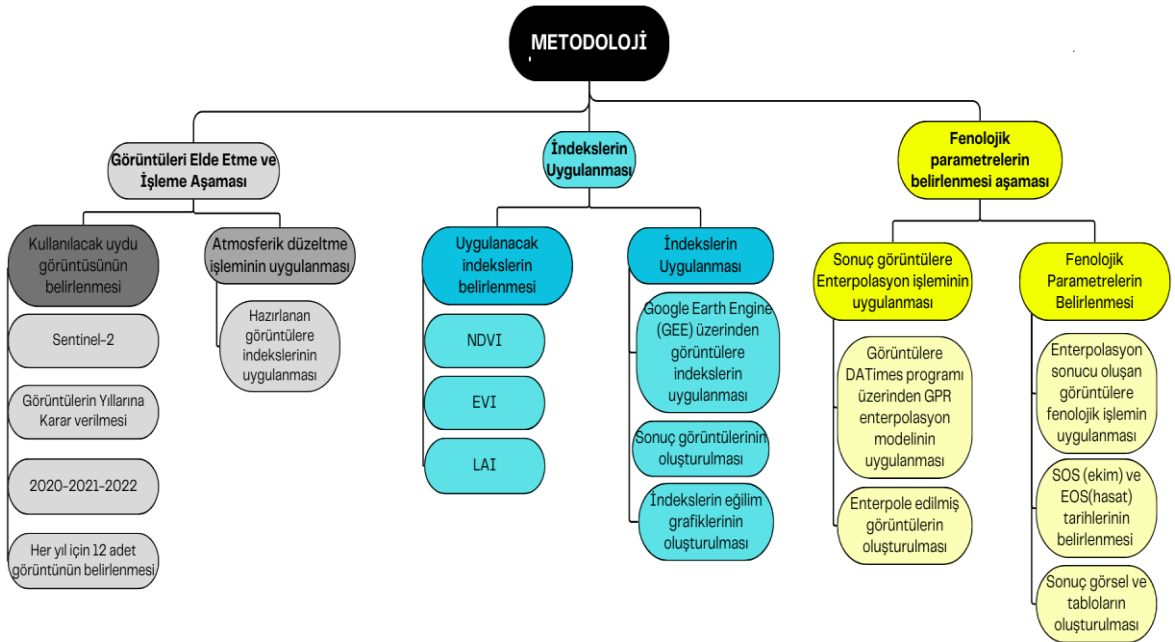
Araştırma kapsamında, uzaktan algılama teknolojilerinin sağladığı veri toplama ve analiz kolaylığından yararlanılarak, bitkinin fenolojik evrelerinin etkin bir şekilde izlenmesi amaçlanmıştır. Uzaktan algılama teknolojisi, hassas tarım uygulamaları için gelişmiş sensörler ve uydu verileri ile tarım alanlarının daha ayrıntılı bir şekilde analiz edilmesine olanak tanımıştır. Bu çalışmada, bitki indekslerinden faydalanılarak, pirinç bitkisinin fenolojik takvimi (ekim ve hasat tarihi) belirlenmiştir.

Bu çalışmanın uzun vadeli hedefi, elde edilen bulgular doğrultusunda, pirinç tarımının daha verimli ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesine katkı sunmaktır. Bu kapsamda, uzaktan algılama verilerinin kullanımı ile tarım arazilerinin daha doğru ve kontrollü bir biçimde kullanılmasının sağlanması, üretim miktarını artırma stratejilerine temel oluşturacaktır. Aynı zamanda, Türkiye’nin pirinç ihtiyacının büyük bir bölümünü karşılayan bu bölgelerde üretim miktarının yeterli seviyeye ulaşmasına katkı sağlayacak verilerin ortaya konması hedeflenmektedir. Bu yöntem ve analizlerin, yalnızca pirinç tarımı için değil, diğer tarım bitkileri üzerinde de uygulayarak daha geniş bir tarımsal

yönetim stratejisi geliştirilmesi planlanmaktadır. Elde edilen verilerin diğer bitki türlerine uyarlanabilirliği incelenecek, benzer teknolojilerin bu bitkiler üzerinde kullanılması ile daha sağlıklı, verimli ve sürdürülebilir bir tarımsal yönetim yapısını oluşturulacaktır. Böylece, uzaktan algılama teknolojisinin tarımsal araştırmalar üzerindeki işlevselliğini ve potansiyelini ortaya koyarak, Türkiye’de tarımsal üretim süreçlerinin iyileştirilmesi yolunda bilimsel anlamda katkı sağlayacaktır.

1.4. Metodoloji

Bu çalışma da, ilk aşama da çalışma alanı belirlendi. Uydu görüntüsü olarak Sentinel-2 uydu görüntüsü seçildi. Analiz edilmesi için 2020-2021-2022 yılları seçildi. Seçilen görüntülere Google Earth Engine yazılımı kullanılarak NDVI, EVI ve LAI endeksleri uygulandı. Endeks uygulanan görüntüler GEE üzerinden indirilerek enterpolasyon ve fenoloji aşamaları uygulanması amacıyla DTimeS programına aktarıldı. Bu aşamada görüntülere ilk olarak enterpolasyon aşaması uygulandı. Enterpolasyon yöntemi olarak Gaussian Process Regression (GPR) yöntemi kullanıldı. Enterpolasyon sonucu oluşan görüntülere fenolojik takvimin ve modellerin oluşturulması için fenoloji aşaması uygulandı. Ve fenolojik takvim ve fenolojik modeller oluşturuldu.



Şekil 1. Metodoloji diyagramı

1.5. Kullanılan Yöntem ve Araçlar

1.5.1. Uydu Görüntüsü

Sentinel-2, Avrupa Ajansı'nın (ESA) Copernicus programının bir parçası olarak, Dünya'nın yüksek çözünürlüklü, çok bantlı görüntülerini sağlayan bir uydu misyonudur. İki uydudan oluşan bu sistem, tarım ormancılık, afet yönetimi ve çevre izleme gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Ekvator üzerindeki alanları her beş günde bir görüntüleyerek sık gözlem yapma imkanı sunar. (ESA, 2024)

Sentinel-2'nin temel sensörü olan Çok Spektral Görüntüleyici (MSI), 13 spektral bantta veri toplar. Bu bantların uzamsal çözünürlüğü 10 m, 20 m ve 60 m arasında değişir. Bu özellikleri sayesinde bitki sağlığı, su içeriği, toprak özellikleri ve arazi kullanımı değişikliği gibi konuların detaylı bir şekilde analiz edilmesine olanak tanır. 290 km'lik geniş tarama alanı ve geniş spektral aralığıyla Sentinel-2, hassas tarım, afet haritalama, orman örtüsü ve kirlilik izleme gibi alanlarda değerli bir kaynak olarak öne çıkar. (ESA, 2024)

Sentinel-2'den elde edilen veriler ücretsiz olarak erişilebilir durumdadır ve hem bilimsel araştırmalar hem de pratik uygulamalar için kritik bir kaynaktır.

Yapılan çalışma da Sentinel-2 uydu görüntüsüne ait 72 görüntü kullanılmıştır. Bu görüntülerin tarihleri aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 1. Sentinel-2 uydu görüntülerine ait tarihler (İpsala)

Görüntü Numarası	Günler	Görüntü Numarası	Günler	Görüntü Numarası	Günler
1	01-01-2020	13	17-01-2021	25	20-01-2022
2	05-02-2020	14	23-02-2021	26	12-02-2022
3	03-03-2020	15	01-03-2021	27	15-03-2022
4	12-04-2020	16	11-04-2021	28	04-04-2022
5	15-05-2020	17	03-05-2021	29	04-05-2022
6	22-06-2020	18	03-06-2021	30	12-06-2022
7	10-07-2020	19	12-07-2021	31	18-07-2022
8	06-08-2020	20	15-08-2021	32	16-08-2022
9	09-09-2020	21	08-09-2021	33	23-09-2022
10	19-10-2020	22	11-10-2021	34	16-10-2022
11	28-11-2020	23	19-11-2021	35	15-11-2022
12	20-12-2020	24	20-12-2021	36	22-12-2022

Tablo 2. Sentinel-2 uydu görüntülerine ait tarihler (Gönen)

Görüntü Numarası	Günler	Görüntü Numarası	Günler	Görüntü Numarası	Günler
1	05-01-2020	13	17-01-2021	25	20-01-2022
2	03-02-2020	14	23-02-2021	26	18-02-2022
3	03-03-2020	15	01-03-2021	27	19-03-2022
4	18-04-2020	16	13-04-2021	28	05-04-2022
5	15-05-2020	17	05-05-2021	29	01-05-2022
6	23-06-2020	18	09-06-2021	30	18-06-2022
7	09-07-2020	19	13-07-2021	31	28-07-2022
8	09-08-2020	20	09-08-2021	32	26-08-2022
9	01-09-2020	21	04-09-2021	33	13-09-2022
10	17-10-2020	22	19-10-2021	34	19-10-2022
11	25-11-2020	23	17-11-2021	35	14-11-2022
12	21-12-2020	24	23-12-2021	36	20-12-2022

1.5.2. Google Earth Engine Yazılımı

Google Earth Engine (GEE), kullanıcıların uydu görüntüleri ve jeo-uzamsal verilerden oluşan büyük veri kümeleriyle çalışmasına olanak tanıyan bulut tabanlı bir platformdur. Coğrafi verileri işlemek, analiz etmek ve görselleştirmek için güçlü araçları NASA, USGS ve ESA gibi kurumlardan gelen kapsamlı bir veri koleksiyonuyla birleştirir. Google Earth Engine'in öne çıkan özellikleri şunlardır:

1. Veri Kümeleri: GEE, petabaytlarca uydu görüntüsü ve diğer jeo-uzamsal veri kümelerine erişim sağlar. Sıkça kullanılan veri kümeleri arasında:

- Landsat: 1970'lere kadar uzanan multispektral uydu görüntüleri
- Sentinel-1 ve Sentinel-2: Radar ve optik görüntüler
- MODIS: Orta çözünürlüklü uydu verileri
- Sayısal Yükseklik Modelleri (DEM'ler)
- İklim verileri (sıcaklık, yağış vb.)
- Arazi örtüsü ve arazi kullanım verileri bulunmaktadır.

2. Analiz Yetenekleri:

- Komut Dosyası Oluşturma: GEE, kullanıcıların JavaScript veya Python ile veri analizi ve görselleştirme yapmasına olanak tanır, görüntü işleme, sınıflandırma ve değişiklik algılama gibi işlemleri destekler.

- Bulut Bilişim: Bulutta çalışarak büyük veri kümelerini işleyebilir ve karmaşık hesaplamaları hızla gerçekleştirebilir.
- Makine Öğrenimi: Sınıflandırma veya kümeleme tekniklerini jeo-uzamsal verilere uygulamak için makine öğrenimi kitaplıkları entegre edilmiştir.

3. Görselleştirme: GEE, etkileşimli bir harita arayüzü üzerinden sonuçların görselleştirilmesine olanak tanır. Zaman serisi animasyonları oluşturabilir, veri katmanlarını üst üste bindirip haritaları dışa aktarabilirsiniz.

4. Uygulamalar:

- Arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişimi izleme: Ormansızlaşma, kentleşme, tarımsal genişleme gibi alanların analizi
- Afet yönetimi: Sel, yangın ve kuraklık analitiği
- Çevresel izleme: İklim değişikliği analizi, kirlilik takibi
- Fenolojik çalışmalar: NDVI gibi verilerle bitki büyüme döngülerinin takibi

5. Kullanıcı Arayüzü:

- Kod Düzenleyici: Web tabanlı bir geliştirme ortamı sağlayarak kullanıcıların kod yazmasına imkan tanır.
- Veri Kataloğu: GEE'nin geniş veri kütüphanesi kolay arama ve projelere eklemeyi destekler. - API: JavaScript ve Python ile özelleştirilmiş analizler için kullanılabilir.

6. Veriyi Dışa Aktarma: Analiz sonuçlarınızı görüntüler, tablolar ve çizelgeler şeklinde dışa aktarabilirsiniz. GEE, bu süreci Google Cloud Storage veya Google Drive entegrasyonları ile destekler.

7. Ücretsiz Erişim: GEE, ticari olmayan kullanım için ücretsizdir ve çevresel izleme ile mekansal analiz yapacak araştırmacılar, öğrenciler, STK'lar ve devlet kurumları tarafından yaygın olarak kullanılır.

8. Verilere Erişim: Kullanıcılar, Earth Engine API tarafından sağlanan bir operatör kütüphanesini kullanarak genel bir katalogdan ve kendi özel verilerinden verilere erişebilir ve bunları analiz edebilir. Bu, hem etkileşimli hem de toplu sorguların sisteme gönderilmesini sağlar (Gorelick vd., 2016).

9. Geliştirme Ortamı: Google Earth Engine, kullanıcıların sonuçları hızlı bir şekilde prototiplemesini ve görselleştirmesini sağlayan web tabanlı bir etkileşimli geliştirme ortamı (IDE) içerir. Bu ortam, kapsamlı programlama becerilerine sahip olmayanlar için erişilebilir olacak şekilde kullanıcı dostu olacak şekilde tasarlanmıştır

10. Sonuçların Yayılması: Algoritmalar Earth Engine’de geliştirildiğinde, kullanıcılar sistematik veri ürünleri üretebilir veya etkileşimli uygulamalar dağıtabilir ve bu da araştırmacılar ve politika yapıcılar da dahil olmak üzere daha geniş bir kitleyle sonuçların paylaşılmasını kolaylaştırır.

1.5.3. DaTimeS (Decomposition and Analysis of Time Series Software)

DATimeS, bitki örtüsünün fenolojik değişimlerini analiz etmek için geliştirilen ve uzaktan algılanan verilerle zaman serisi analizine odaklanan bir araçtır. MATLAB ortamında yazılmış olan DATimeS, özellikle büyük alanlarda bitki gelişiminin zamansal ve mekansal değişkenliğini anlamak için kullanılır. Bu yazılım, bitki fenolojisini doğru şekilde belirlemek için, eksik ve süreksiz gözlemleri tamamlayan boşluk doldurma çözümleri sunar.

DATimeS programı, sezon başlangıç ve bitiş tarihlerini zaman serisi analizleriyle, bitki örtüsü endekslerine dayalı olarak belirler. Uydu verilerinden alınan zaman serileri, enterpolasyon yöntemleri ile eksiksiz hale getirilir ve mevsimsel bileşenler ayrıştırılır (MODIS Land Team, 2015).

Sezon başlangıcı, NDVI için genellikle 0.2–0.3, EVI için 0.2–0.3 ve LAI için 0.5 değerlerinin aşıldığı ilk gün olarak kabul edilirken, sezon bitişi bu değerlerin altına düştüğü gün olarak belirlenir (Rouse vd., 1974; Myneni vd., 2002). NDVI, bitki büyüme döngüsünü genel olarak izlemek için kullanılırken, EVI atmosferik etkilerden daha az etkilendiği ve yoğun bitki örtüsünü daha iyi temsil ettiği için daha geniş uygulamalara sahiptir (Zhang vd., 2004). LAI ise yaprak alanı ve bitki yoğunluğu ile doğrudan ilişkili olduğundan fiziksel büyüme sürecini en iyi yansıtan endeks olarak kullanılır (Sakamoto vd., 2011).

Bu eşik değerler, bitki türüne, bölgeye ve çalışmanın amacına göre özelleştirilebilir. Ayrıca maksimum endeks değerleri, bu değere ulaşma süresi ve toplam endeks değerleri gibi fenolojik parametreler hesaplanır ve grafiklerle görselleştirilir. DATimeS, varsayılan eşik değerleri sunabilir ve bu değerleri kullanıcı analize göre optimize edebilir (MODIS Land Team, 2015).

DATimeS’in ana işlevleri iki ana kategoriye ayrılır:

1. Uzamsal Sürekliliği Sağlayan Haritalar Üretme: DATimeS, optik uzaktan algılama verilerindeki süreksizliği gidermek için gelişmiş Makine Öğrenimi

Regresyon Algoritmaları (MLRA) kullanır. Bu algoritmalar arasında Gauss Süreci Regresyonu (GPR) gibi teknikler yer alır ve birden fazla sensörün sinerjisi ile eksik verileri tamamlayarak mekansal olarak sürekli haritalar oluşturur (URL-1, 2021).

2. Fenolojik Göstergelerin Mekansal Modellerini Çıkarma: DATimeS, birden fazla mevsim boyunca fenolojik göstergelerin mekansal değişimlerini analiz ederek, bitkilerin belirli büyüme aşamalarının (örneğin, çiçeklenme veya olgunlaşma dönemleri) heterojen dağılımını tespit eder. Bu analizler, geniş alanlarda farklı mahsul türlerinde fenolojik olayların zamanlamasını anlamak için kullanılır (URL-1, 2021).

Bu iki temel yetenek sayesinde, DATimeS, tarımsal verimliliği artırmak ve tarımsal kararları desteklemek için önemli bir araç sunar. Uygulama, zamansal eksikliği bulunan verileri doğru bir şekilde tamamlayarak, bitki gelişimi ile ilgili kararların daha bilimsel temellere dayandırılmasına katkı sağlar (URL-1, 2021).

1.6. Kullanılacak Bitki Tespiti

Çeltik (pirinç) bitkisi, dünya genelinde milyarlarca insanın beslenmesinde temel bir rol oynamaktadır ve bilhassa Asya kıtasında son derece önemli bir konuma sahiptir. Ekonomik açıdan büyük bir değere sahip olan bu bitki, birçok ülkenin tarım sektörüne katkı sağlamakta ve çiftçiler için de başlıca gelir kaynağı teşkil etmektedir. Bunun yanı sıra, pek çok kültürde sosyal ve kültürel anlamda önemli bir yere sahip olan çeltik, geleneksel mutfakların vazgeçilmez bir unsuru olarak karşımıza çıkmaktadır. Çeltik tarımı, sulak alanların korunmasına destek vererek biyolojik çeşitliliğin artmasına katkıda bulunmakta ve gıda güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, genetik araştırmalar ve tarımsal gelişim çalışmaları için değerli bir model bitki niteliğindedir.

Çeltik bitkisi, tropikal ve subtropikal iklimlerde yetişen bir su bitkisidir. Çeltik bitkisinin özellikleri ve yetiştirilme şartlarına dair bazı önemli hususlar aşağıda detaylandırılmıştır:

İklim Gereksinimleri: Çeltik, sıcak ve nemli iklimlerde optimal gelişim göstermektedir. İdeal olarak, ortalama sıcaklık değerleri 20-30°C arasında olmalıdır. Ayrıca, su sıcaklığı çimlenme süreci için en az 12°C'yi bulmalıdır (Taşlıgil & Şahin, 2011).

Toprak Yapısı: Çeltik, çeşitli toprak türlerinde yetişebilmesine karşın, optimum ürün verimi su geçirimsiz, besin maddelerince zengin, yumuşak ve killi topraklarda elde edilir. Milli-alüvyal topraklar, çeltik tarımı için en uygun türler arasında yer almaktadır. Su Gereksinimi: Çeltik tarımı yoğun su ihtiyacı ile karakterizedir. Yetiştirme döneminde minimum yağış gereksinimi 1000-1200 mm civarındadır. Yeterli doğal yağışın bulunmadığı koşullarda sulama işlemlerinin gerçekleştirilmesi zorunludur. Su kaynağının sürekli ve güvenilir olması, bitkinin sağlıklı gelişimi açısından kritiktir (Taşlıgil & Şahin, 2011).

Nem Gereksinimi: Yüksek nem oranları çeltik için faydalı iken, fazlalığı mantar hastalıklarını tetikleyebilir. Bu nedenle, nem düzeylerinin dikkatlice izlenmesi gerekmektedir (Taşlıgil & Şahin, 2011).

Topografik Özellikler: Çeltik tarımı için düz veya düzleştirilmiş araziler tercih edilmektedir ki bu, özellikle sulama etkinliklerinin kolaylaştırılması açısından önem taşır (Taşlıgil & Şahin, 2011).

Yetiştirme Koşulları: Ekim Dönemi: Ekim işlemi genellikle sıcak mevsimlerde gerçekleştirilir. Optimal ekim zamanı, bölgesel iklim şartlarına göre farklılık gösterebilir. (Taşlıgil & Şahin, 2011).

Sulama Stratejileri: Çeltik tarımındaki kritik faktörlerden biri yeterli su teminidir. Sulama gereksinimi, göletler veya kanallar gibi sistemlerle karşılanmalıdır (Taşlıgil & Şahin, 2011).

Rüzgar ve Diğer İklimsel Etmenler: Rüzgar, bitkilerin olgunlaşma sürecinde zarar verici olabilir ve verim düşüşlerine neden olabilir. Dolayısıyla, rüzgarlı bölgelerde çeltik tarımının dikkatli bir biçimde planlanması gerekir. Bu koşullara riayet edildiğinde, çeltik bitkisi sağlıklı bir şekilde yetişip yüksek verim sağlayabilir. Türkiye’de özellikle Marmara Bölgesi’nde yoğunlaşan çeltik tarımı, ülke üretiminin yarısından fazlasını karşılayarak büyük önem taşımaktadır (Taşlıgil & Şahin, 2011).

Tablo 3. Pirinç bitkisini büyüme evreleri (FAO, 2024; IRRI, 2024; T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2024)

Büyüme Evresi	Açıklama	Süre (Tahmini)
1.Çimlenme ve Fideleme	Tohumun filizlenmesi ve küçük fidelerin ortaya çıkışı, suya doygunluk, sıcaklık ve oksijen gereklidir	7-15 gün
2.Vejetatif Dönem	Fidelerin hızlı yaprak, sap ve kök gelişimi. Bu dönemde azotlu gübre uygulamaları önemlidir	30-60 gün
3.Üreme Dönemi	Gövde uzaması, başaklanma ve çiçeklenme gerçekleşir. Strese duyarlı dönemdir	35-40 gün
4.Tanelerin Dolması	Tane büyümesi ve nişasta birikimi gerçekleşir. Su ihtiyacı devam eder.	30-35 gün
5.Olgunlaşma	Taneler sertleşir ve olgunlaşır. Hasat öncesi kurutma dönemi	15-20 gün

1.7. Çalışma Alanı

Balıkesir'in Gönen İlçesi ve Edirne'nin İpsala İlçesi, Türkiye'nin Marmara Bölgesi'nde yer almaktadır. Edirne, İpsala için coğrafi koordinatları 40.8591° N, 26.4356° E, Balıkesir, Gönen için ise 40.0600° N, 27.6400° E coğrafi koordinatlarında yer almaktadır. İki yer arasındaki mesafe 200 km'dir (URL-2, 2022).

Çalışmada, İpsala bölgesine ait alan 54,136.58 dekar, Balıkesir Gönen bölgesine ait alan ise 97,817.99 dekar olarak tespit edilmiştir.

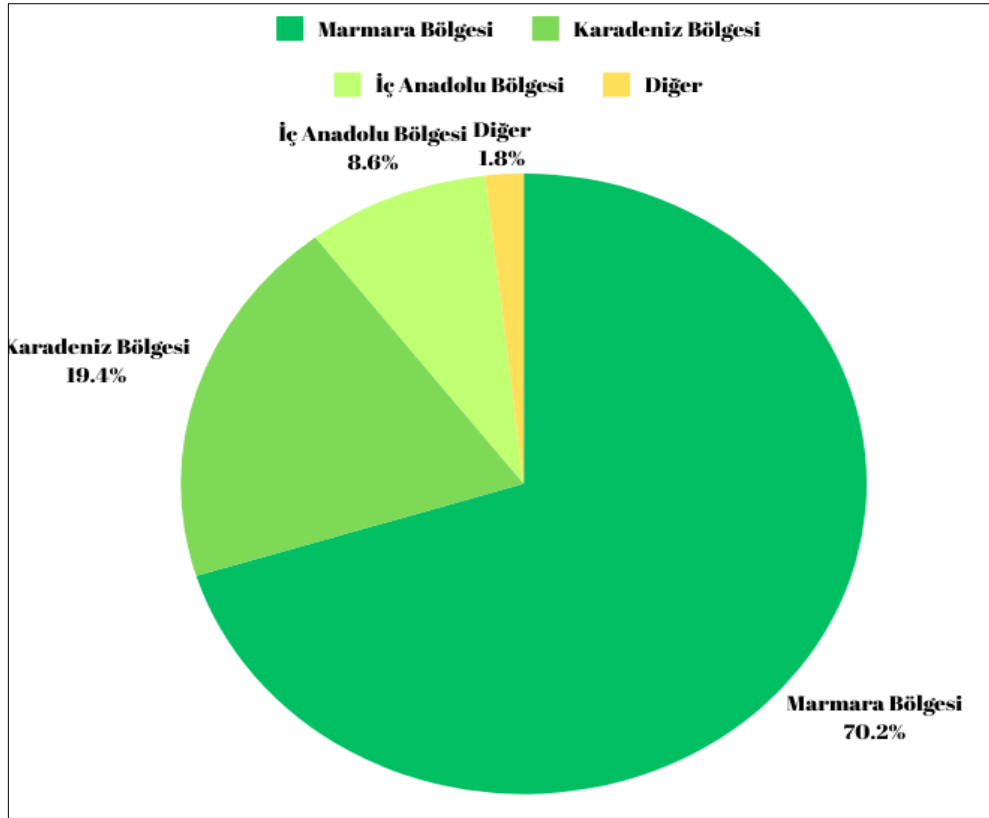
Balıkesir Marmara Denizi kıyısında yer almaktadır. Gönen'in ekonomisi tarım, hayvancılık ve sanayiye dayanmaktadır. Bölgenin başlıca tarım ürünleri pirinç, buğday, arpa, ayçiçeği ve baklagillerdir. Gönen'de ayrıca büyük bir sanayi bölgesi bulunmaktadır (URL-2, 2022).

İpsala, Edirne'nin en kuzeydeki ilçesidir. Bu bölge Meriç Nehri'nin kıyısında yer almaktadır. İpsala'nın ekonomisi tarım ve hayvancılığa dayanmaktadır. Bölgenin başlıca ürünleri pirinç, buğday, arpa, ayçiçeği ve baklagillerdir. İpsala'da büyük bir hayvancılık sektörü de bulunmaktadır (URL-2, 2022).

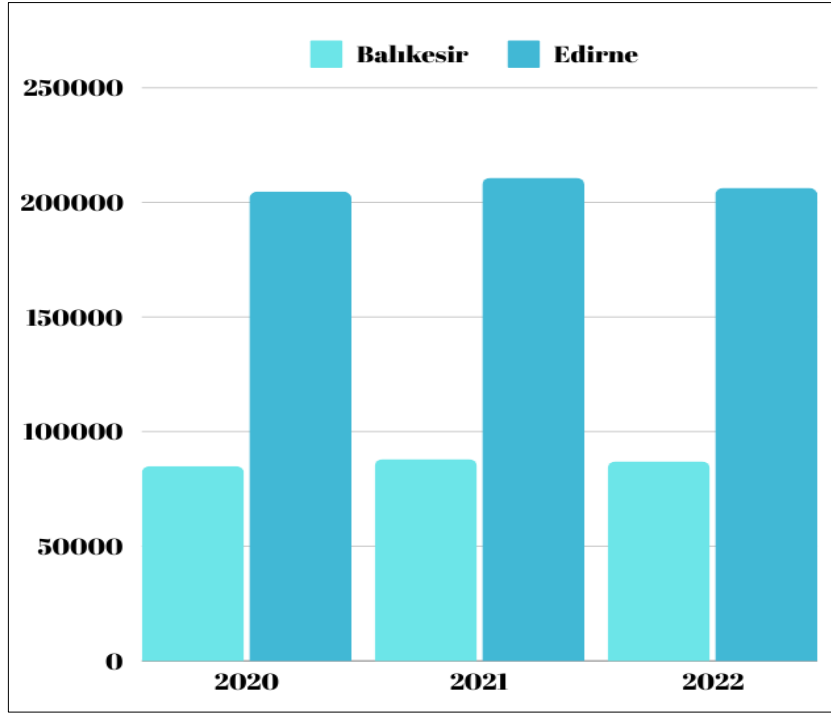
Gönen ve İpsala bölgeleri Türkiye'de pirinç üretiminin ana merkezleridir. Gönen'de yetişen pirinç, büyüklüğü ve lezzetiyle ünlüdür. İpsala'da yetişen pirinç, Meriç Nehri'nin toprağından gelen lezzetiyle ünlüdür. Gönen ve İpsala bölgeleri Türkiye'de tarımsal üretimin önemli merkezleridir. Her iki bölge de pirinç üretimi açısından önemlidir (URL-2, 2022).

2020 yılı itibarıyla Gönen ve İpsala bölgelerindeki ekim alanları 85.000 dekar ve 204.697 dekar olarak kaydedilmiştir. 2021 yılında Gönen'deki ekim alanı 88.000 dekara yükselirken, İpsala'daki ekim alanı 210.694 dekara çıkmıştır. 2022 yılı itibarıyla ise Gönen'deki ekim alanı 87.000 dekar İpsala'daki ekim alanı ise 206.280 dekara düşmüştür (TUİK,2024).

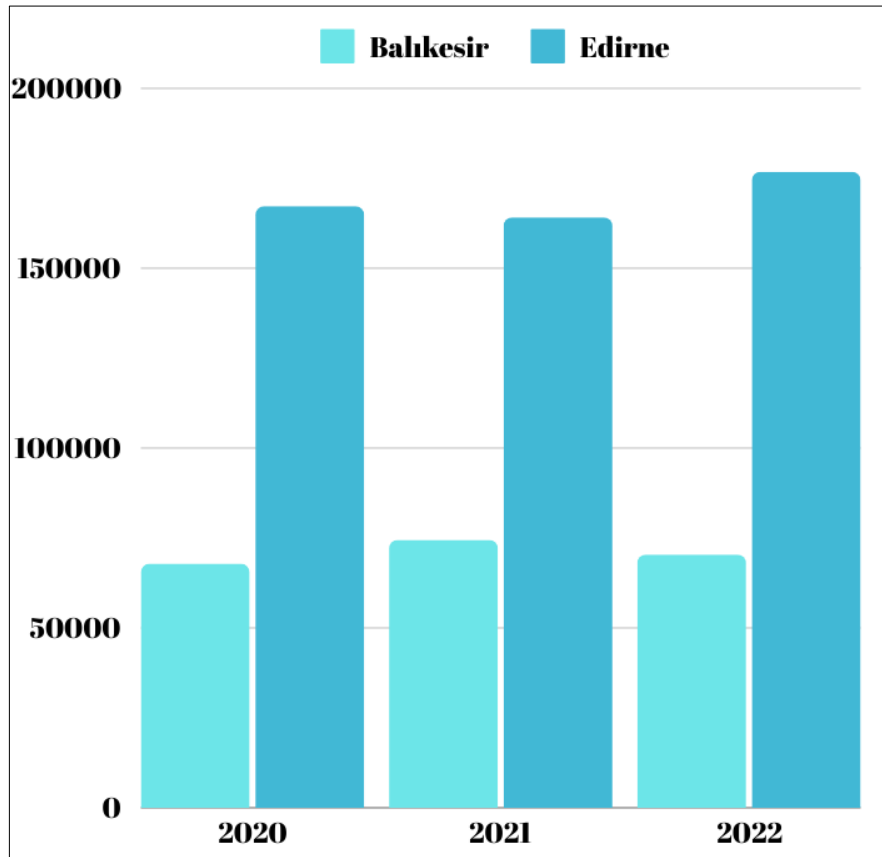
2020 yılı itibarıyla Gönen ve İpsala bölgelerinde üretim miktarları sırasıyla 67.832 ton ve 167.225 ton olarak kaydedilmiştir. 2021 yılında Gönen'deki üretim miktarı 74.447 tona, İpsala'daki üretim miktarı ise 164.136 tona çıkmıştır. 2022 yılı itibarıyla Gönen'deki üretim 70.400 tona, İpsala'daki üretim ise 176.858 tona ulaşmıştır (TUİK,2024)



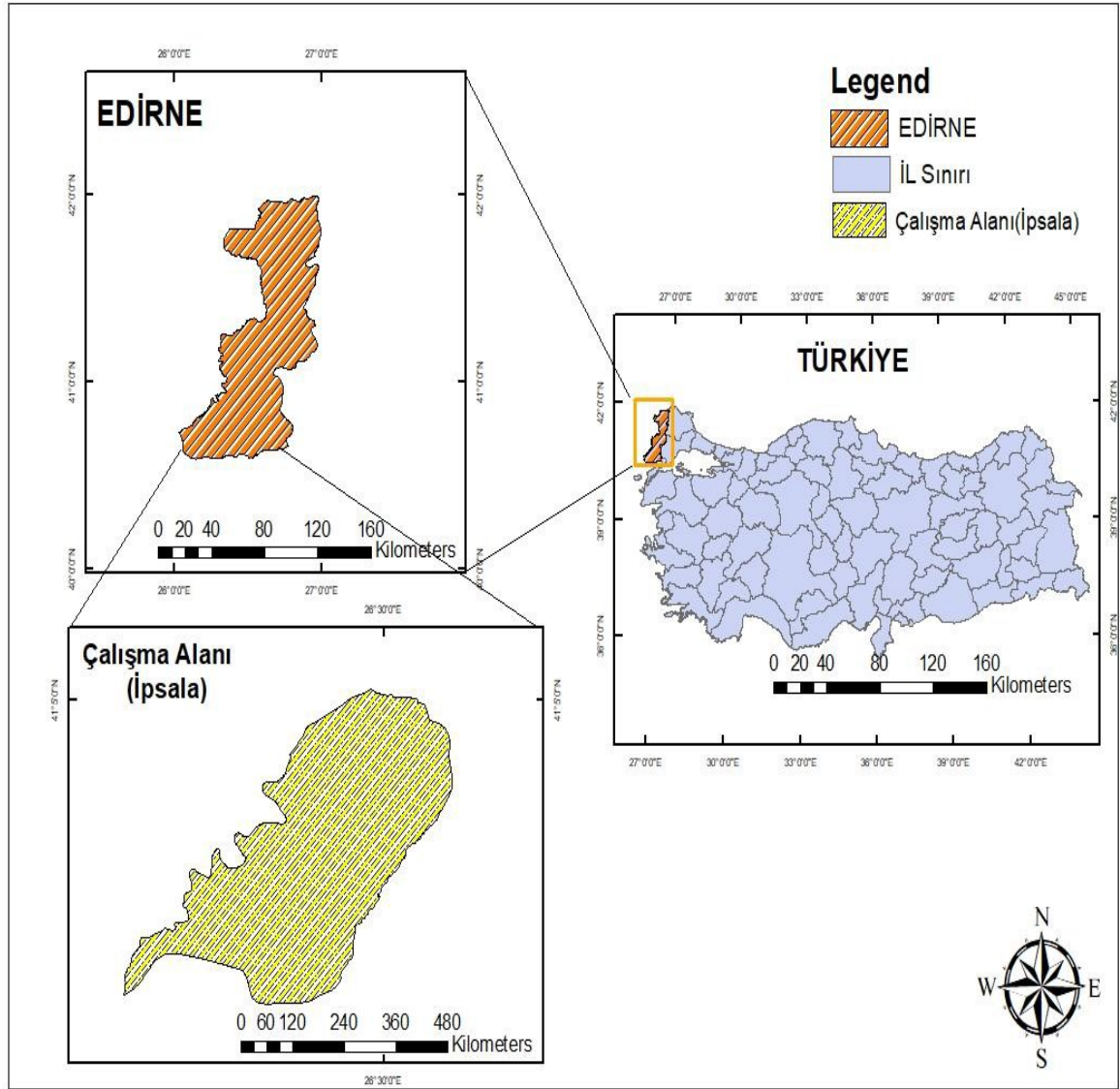
Şekil 2. Türkiye de pirincin bölgelere göre dağılımı (TUİK,2024)



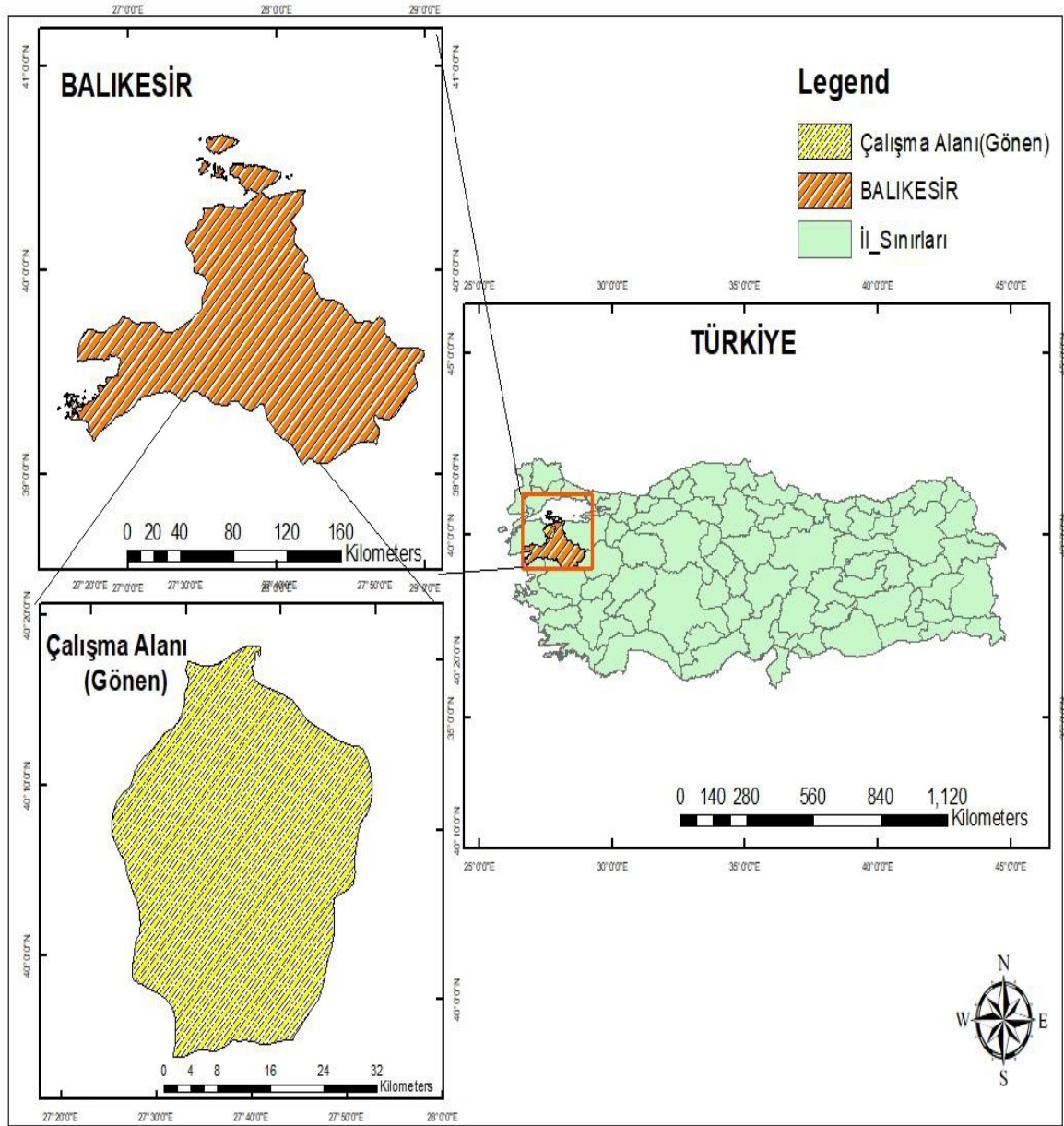
Şekil 3. Edirne ve Balıkesir de pirinç ekim alanları (Dekar) (TUIK,2024)



Şekil 4. Edirne ve Balıkesir de pirinç üretim miktarları (ton) (TUIK,2024)



Şekil 5. Edirne, İpsala İlçesi konum haritası

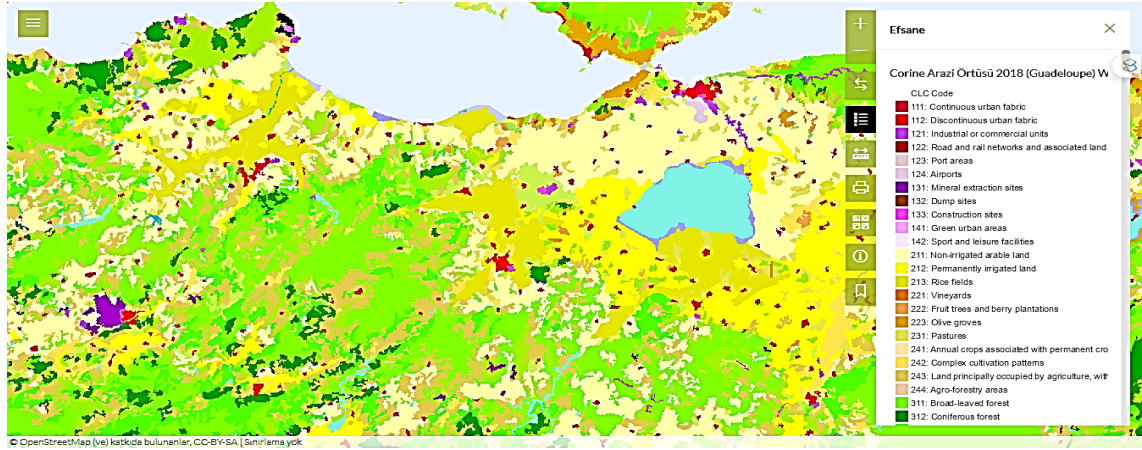


Şekil 6. Balıkesir, Gönen İlçesi konum haritası

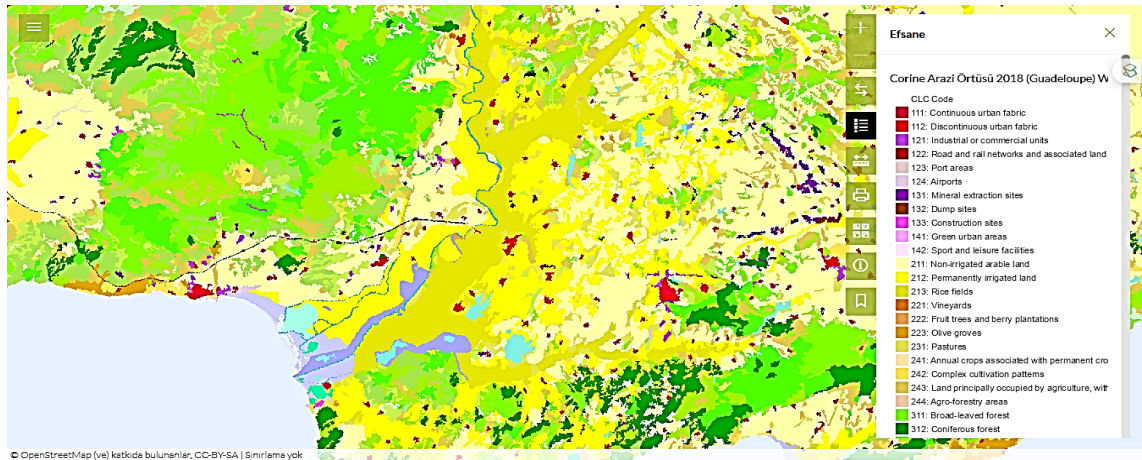
2.YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Google Earth Engine Üzerinden Pirinç Alanlarının Tespit Edilmesi

CORINE LAND COVER bilgilerinin tutarlılığının ve verilerin uyumluluğunun sağlanması, Avrupa Çevre Ajansı kriterlerine göre arazi örtüsü haritalarının oluşturulmasını amaçlayan ve yapan bir servistir. CORINE LAND COVER arazi örtüsü haritalanmasında 44 sınıf kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılacak alan olarak Edirne İpsala ve Balıkesir Gönen alanı belirlenmiştir ve alanda yapılan sınıflandırılmalar incelenmiştir.



Şekil 7. CLC üzerindeki arazi örtüsü sınıfları (Gönen).(European Environment Agency, 2018)



Şekil 8. CLC üzerindeki arazi örtüsü sınıfları (İpsala). (European Environment Agency, 2018)

2.2. Yıllara Ait Görüntülerin Elde Edilmesi İşlemi

Araştırma da kullanılacak 2020, 2021 ve 2022 yıllarına ait görüntüler, belirli bir bölgeye odaklanarak zaman serisi analizi yapılmak üzere seçildi. Google Earth Engine’de bu yıllara ait verilerin tanımlanması, ilgili coğrafi bölge ile sınırlandırılması ve bulutluluk oranına göre filtrelenmesi mümkündür. Filtreleme işlemi, görüntü kalitesini artırmak amacıyla, bulut örtüsünü belirli bir oranın altında tutarak gerçekleştirilir. Sentinel-2 verilerinin yüksek çözünürlüklü bantları arasında özellikle kırmızı, yeşil ve mavi bantlar, doğal renk kompozisyonları oluşturmak için kullanılırken, kızılötesi bantlar bitki sağlığı analizleri gibi uygulamalar için oldukça değerlidir.

Google Earth Engine üzerinde belirli bir yıl için görüntü oluşturulduktan sonra, platform bu verilerin görselleştirilmesini ve analizini destekler. Platform aracılığıyla yıllık veya aylık bazda ortalama görüntüler oluşturulabilir. Daha ileri analizler veya sunumlar için bu görüntüler, belirli bir çözünürlükte ve formatta indirilebilir. Sonuç olarak, Google Earth Engine kullanılarak Sentinel-2 verileriyle yapılan bu tür bir işlem, çok yıllık uydu verilerinin yüksek doğrulukla analiz edilmesine ve araştırmalara uygulanmasına olanak sağlar.



Şekil 9. Gönen İlçesi uydu görüntüsünden görünümü



Şekil 10. Belirlenen alana ait görüntülerin seçilmesi (Gönen)



Şekil 11. İpsala İlçesi uydu görüntüsünden görünümü



Şekil 12. Belirlenen alana ait görüntülerin seçilmesi (İpsala)

2.3. Görüntülere NDVI, EVI ve LAI Endekslerinin Uygulanması

Bitkisel endeksler, farklı dalga boylarında ölçülen yansıma değerlerine matematiksel işlemler uygulanarak, bitki örtüsünün yoğunluğunu ve sağlık durumunu gösteren tek bir değeri hesaplamaya yarayan metriklerdir. Bu endeksler, bitkileri yeryüzündeki diğer doğal elementlerden ayırarak daha doğru bir analiz imkanı sunmaktadır. Bitkilerin yansıma değerleri sağlık durumlarına göre değişiklik gösterir. Özellikle sağlıklı bitkiler, yüksek miktarda klorofil içerdiğinden, yeşil yapraklarıyla daha yüksek yansıma değerleri üretirler. Ancak, bitkilerin sağlık durumları bozuldukça, yansıma değerleri düşüş göstermektedir.

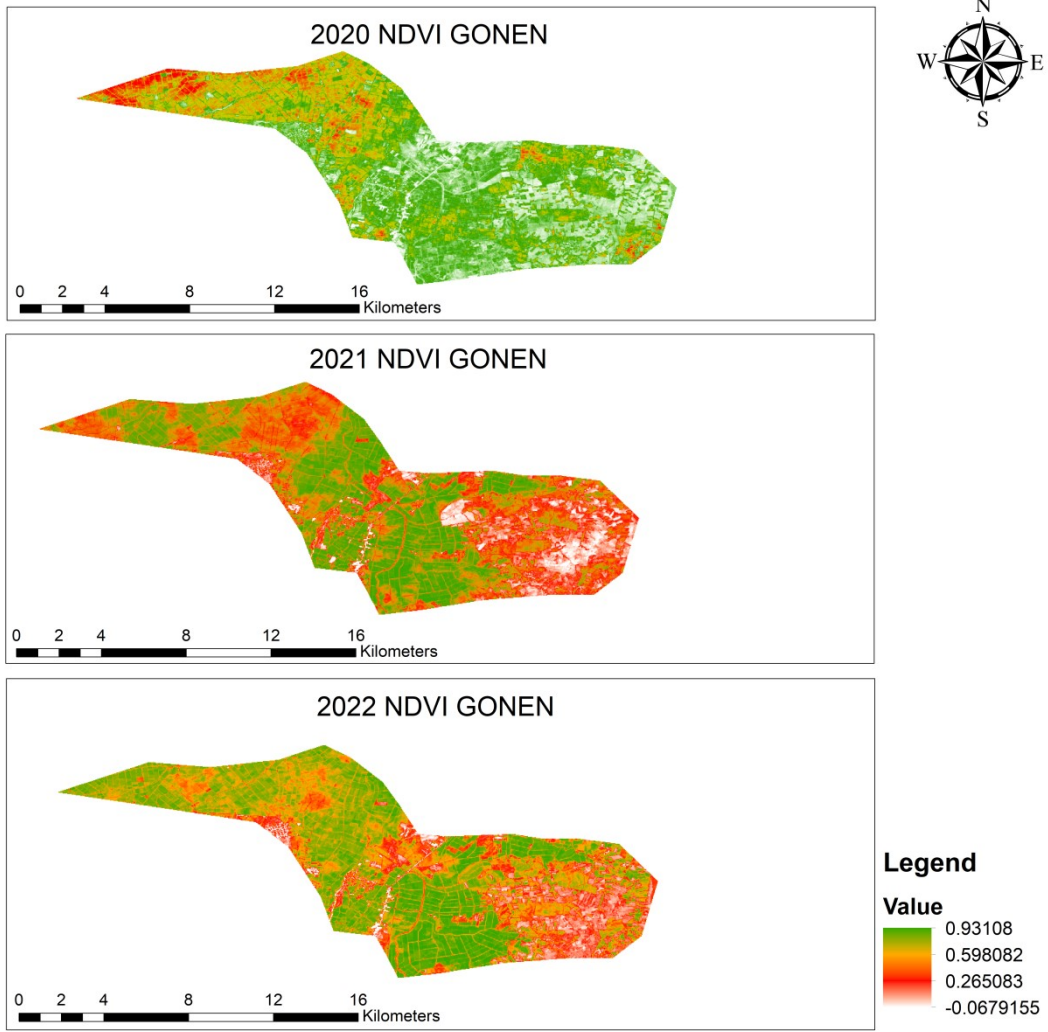
Bu çalışmada, literatür incelemeleri ve yapılan araştırmalardan elde edilen belirli bitki indeksleri değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında Google Earth Engine (GEE) yazılımı kullanılarak, uydu görüntüleri üzerinden bu indeksler hesaplanmış ve analiz edilmiştir.

Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü Endeksi (NDVI), bitki örtüsünün yoğunluğunu ve sağlığını değerlendirmek için kullanılan standart bir bitki endeksidir. NDVI, yakın kızılötesi (NIR) ve kırmızı (Red) bantlar arasındaki yansıma farkının, bu bantların toplamına bölünmesiyle hesaplanır ve şöyle ifade edilir:

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \quad (1)$$

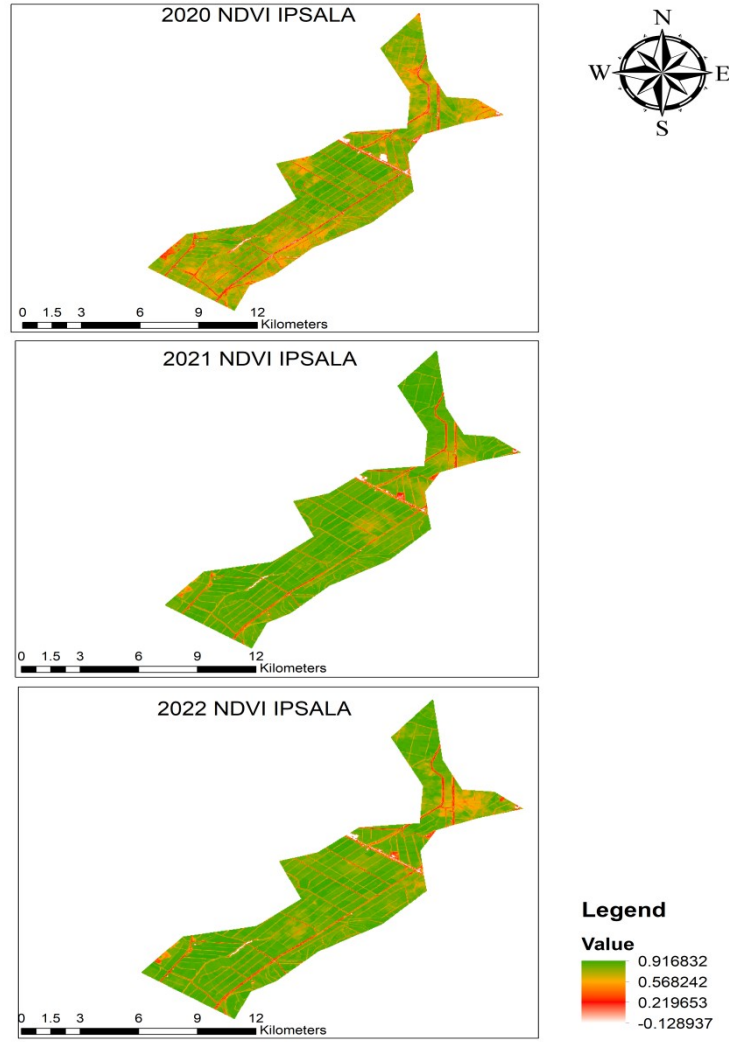
Bu endeks, “yeşil biyokütlenin miktarını ve canlılığını ölçmek için etkili bir yöntem” olarak tanımlanır (Jensen, 2009). Özellikle sağlıklı bitkiler, yüksek klorofil içeriğine bağlı olarak yakın kızılötesi ışını daha fazla yansıtırken kırmızı ışığı daha fazla soğurur; bu özellik NDVI ile ölçülerek bitki sağlığı hakkında bilgi verir (Tucker, 1979). NDVI değerleri +1’e yakınsa sağlıklı ve yoğun bir bitki örtüsünü ifade ederken, 0’a yakın veya negatif değerler bitki örtüsünün az veya hiç olmadığını gösterir (Campbell & Wynne, 2011).

NDVI, tarım, ekoloji ve orman yönetimi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılır ve biyokütle, ekosistem sağlığı ve bitki fenolojisinin belirlenmesinde önemli bir gösterge sunar.



Şekil 13. Gönen 2020-2021-2022 yıllarına ait NDVI görüntüleri (yeşil alan=pirinç alanı, turuncu alan=ekilmeyen alan ve kırmızı alan=toprak alanı)

Gönen bölgesine ait 2020, 2021 ve 2022 yıllarındaki NDVI haritaları, bitki örtüsündeki değişimleri net bir şekilde ortaya koymuştur. 2020 yılına ait haritada yeşil tonların baskın olması, bölgedeki bitki örtüsünün genel olarak yoğun olduğunu göstermiştir. Ancak 2021 yılında sarı ve kırmızı tonların belirgin bir şekilde artışın gözlemlenmiş olması, bitki örtüsünde azalma olduğunu göstermiştir. 2022 yılına gelindiğinde ise kırmızı ve sarı alanların tekrar yaygın hale geldiği görülmüştür. Bu durum, tarımsal faaliyetlerdeki azalma, iklim değişikliği, toprak yapısındaki bozulmalar, doğal afetler veya sürdürülebilir olmayan arazi yönetimi gibi faktörlerden kaynaklanıyor olabilir. TÜİK’den alınan ekim alanı verilerine bakıldığında 2020 yılından sonra ekim alanlarında artma olduğu görülmektedir. Bu veriler bize NDVI endeksinin Gönen alanı için tam olarak doğru sonuç vermediğini göstermiştir.



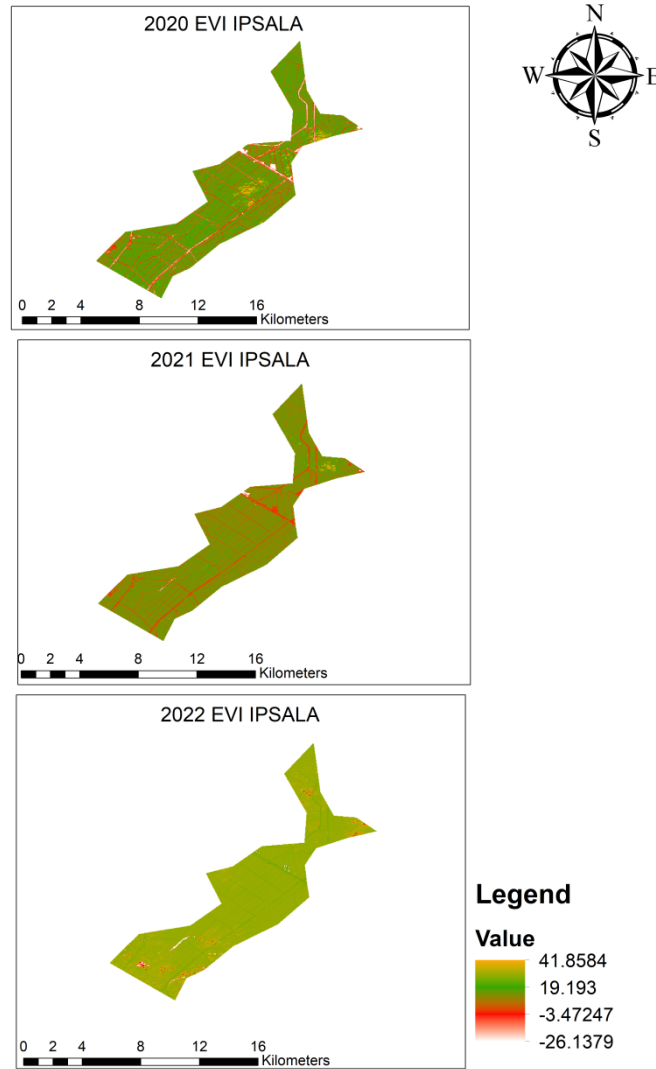
Şekil 14. İpsala 2020-2021-2022 yıllarına ait NDVI görüntüleri (yeşil alan=pirinç alanı, turuncu alan=ekilmeyen alan ve kırmızı alan=toprak alanı)

İpsala bölgesinde 2020 yılına ait haritada yeşil tonların baskın olması, bölgedeki bitki örtüsünün genel olarak yoğun olduğunu göstermiştir. Ancak 2021 yılında sarı tonların 2020 'ye oranla biraz daha artış göstermesi, bitki örtüsünde azalma olduğunu göstermiştir. 2022 yılına gelindiğinde ise sarı alanların yaygın hale geldiği görülmüştür. Bu durum, tarımsal faaliyetlerdeki azalma, iklim değişikliği, toprak yapısındaki bozulmalar, doğal afetler veya sürdürülebilir olmayan arazi yönetimi gibi faktörlerden kaynaklanıyor olabilir. TÜİK'den alınan ekim alanı verilerine bakıldığında da 2020 yılında ve 2021 yılında artış sonrasında ekim alanlarında azalma olduğu görülmüştür. Bu veriler bize NDVI endeksinin İpsala alanı için doğru sonuç verdiğini göstermiştir.

Geliştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (EVI), NDVI endeksinin geliştirilmiş bir versiyonu olup, bitki örtüsünün yoğun olduğu, yaprak alanı endeksinin (LAI) yüksek

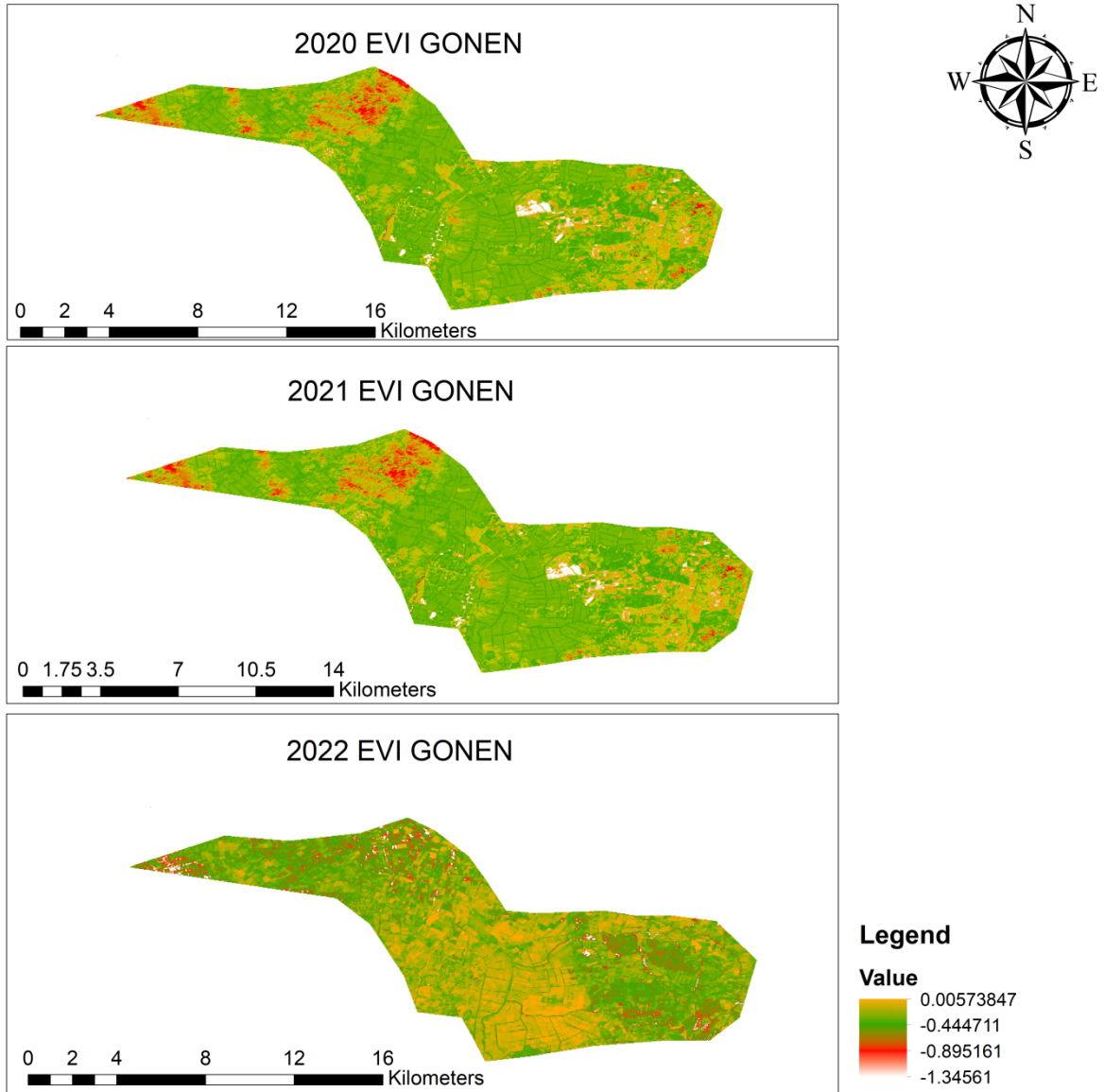
olduğu alanlarda, mavi dalga boylarını kullanarak toprak sinyallerini ve atmosferik etkileri düzeltmede avantaj sağlar. EVI'nin formülünde mavi dalga boyları, bu tür parazitlerin etkisini azaltmak için bir düzeltme faktörü olarak kullanılır. Bu sayede yoğun bitki örtüsünde NDVI'ya göre daha doğru bir bitki sağlığı ölçümü yapılabilir. EVI değeri -1 ile +1 arasında değişmekte olup, sağlıklı bitki örtüsü genellikle 0.20 ile 0.80 değer aralığında gözlemlenir (Huete, 2002; Didan, 2015).

$$EVI = 2.5 \times \frac{(NIR - RED)}{(NIR + 6 \times RED - 7.5 \times BLUE + 1)} \quad (2)$$



Şekil 15. İpsala 2020-2021-2022 yıllarına ait EVI görüntüleri (yeşil alan=pirinç alanı, turuncu alan=ekilmeyen alan ve kırmızı alan=toprak alanı)

İpsala bölgesinde 2020-2021 ve 2022 yılına ait haritalarda yeşil tonların baskın olması, bölgedeki bitki örtüsünün genel olarak yoğun olduğunu göstermektedir. Fakat, TUİK'den alınan ekim alanı verilerine bakıldığında da 2020 yılında ve 2021 yılında artış sonrasında ekim alanlarında azalma olduğu görülmüştür. Bu sonuç görselinde 2022 yılında yeşil renginin daha arttığı görülmüştür. Bu veriler bize EVI endeksinin İpsala alanı için tam olarak doğru sonuç vermediğini göstermiştir.



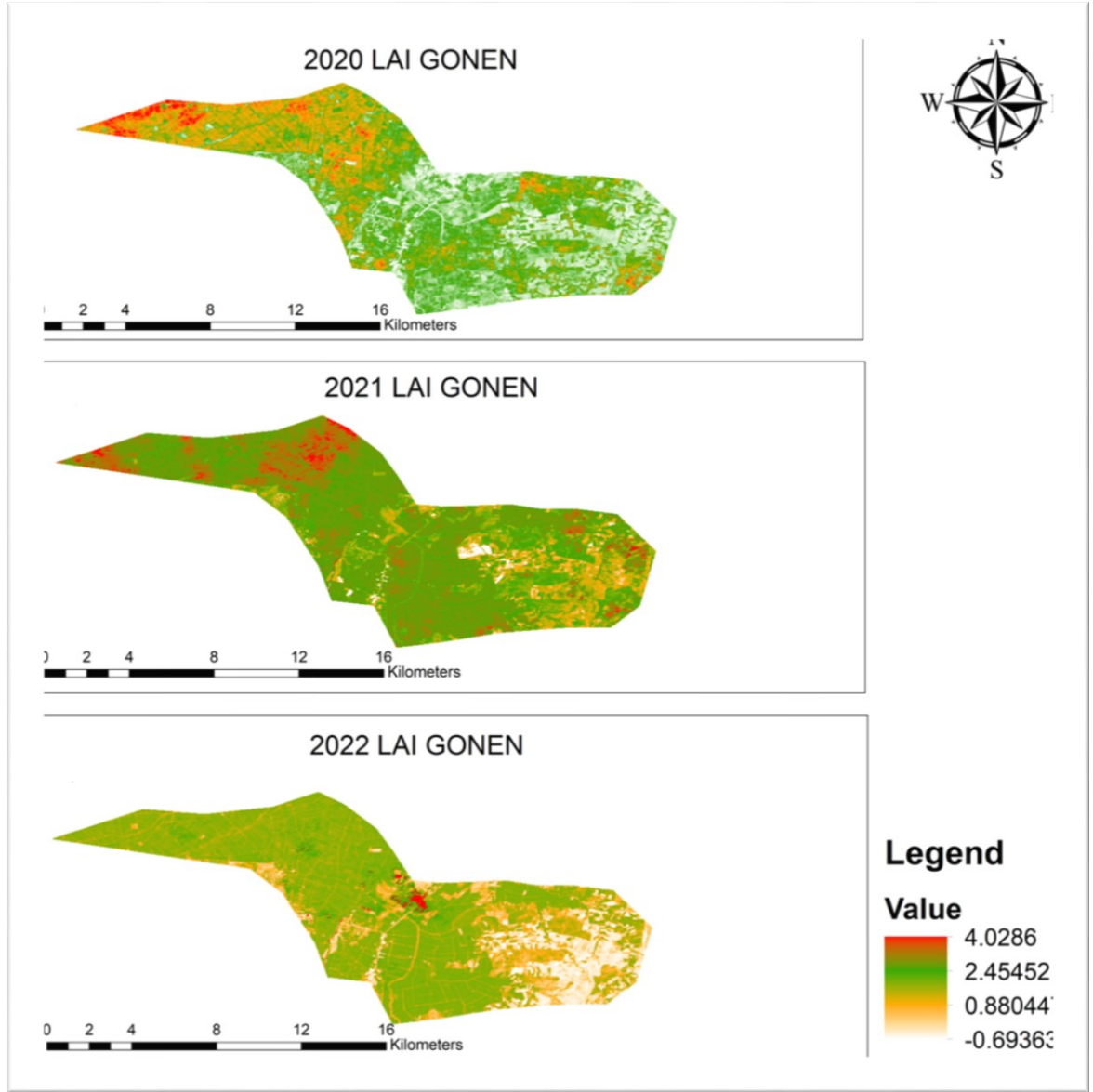
Şekil 16. Gonen 2020-2021-2022 yıllarına ait EVI görüntüleri (yeşil alan=pirinç alanı, turuncu alan=ekilmeyen alan ve kırmızı alan=toprak alanı)

Gönen bölgesine ait 2020, 2021 ve 2022 yıllarındaki EVI haritaları, bitki örtüsündeki değişimleri net bir şekilde ortaya koymuştur. 2020 ve 2021 yıllarına ait haritada yeşil

tonların baskın olması, bölgedeki bitki örtüsünün genel olarak yoğun olduğunu göstermiştir. Ve iki yılda yakın sonuçlar vermiştir. 2022 yılına gelindiğinde ise sarı alanların daha yaygın hale geldiği görülmüştür. Bu durum, tarımsal ekim alanlarının azaldığını ve toprağın boş kaldığını göstermiştir. TUIK'den alınan ekilen alan verilerine bakıldığında 2020 ve 2021 yıllarında Gönen ilçesinde ekilen pirinç tarlalarında artma olduğu ve 2022 yılında ise azalma olduğu görülmüştür. 2021 ve 2022 yılında yeşil renginin fazlalığı ve 2022 yılından yeşil renklerin azalması ve sarı renklerin artması bize 2020 ve 2021 yılında artış, 2022 yılında ise ekilen alanlarda azalma olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde EVI indeksinin Gönen bölgesi için doğru sonuç verdiğini göstermiştir.

Yaprak Alanı İndeksi (LAI), bitki örtüsünün yoğunluğunu, kanopi yapısını ve biyokütle miktarını nitelendiren önemli bir ölçüttür. Genellikle yaprak kümelerinin belirlenmesinde kullanılır ve NDVI'ya benzer şekilde mahsullerin büyüme aşamalarının izlenmesi ve verim tahminlerinde önemli bir rol oynar. LAI, bir bitki örtüsünün yaprak yüzey alanını (yaprakların yatay yüzeye olan oranı) hesaplayarak alan üzerindeki toplam biyokütle miktarını anlamaya yardımcı olur. Tarımsal çalışmalar ve ekosistem modellemelerinde sıklıkla kullanılan LAI'nin değer aralığı genellikle 0 ile 3.5 arasında değişir, ancak bu değerler yoğun bitki örtüsünde daha yüksek seviyelere ulaşabilir (Asner 2003; Chen & Black, 1992).

$$LAI = \frac{1}{0.6931} \times \frac{EVI-0.1}{0.5+EVI} \quad (3)$$



Şekil 17. Gönen 2020-2021-2022 yıllarına ait LAI görüntüleri (yeşil alan=pirinç alanı, turuncu alan=ekilmeyen alan ve kırmızı alan=toprak alanı)

Gönen bölgesi, 2020 yılına ait haritada yeşil tonların baskın olmaması, bölgedeki pirinç tarlalarının azaldığını göstermiştir. Ancak 2021 yılında yeşil tonların belirgin bir şekilde arttığı, pirinç tarlalarında artış olduğunu göstermiştir. 2022 yılına gelindiğinde ise yeşil tonlarda azalışın görülmesi ekilen alanların tekrardan azaldığını göstermektedir. Bu durum, tarımsal faaliyetlerdeki azalma, iklim değişikliği, toprak yapısındaki bozulmalar, doğal afetler veya sürdürülebilir olmayan arazi yönetimi gibi faktörlerden kaynaklanıyor olabilir. TÜİK'den alınan ekilen alan verilerine bakıldığında 2020 ve 2021 yıllarında Gönen ilçesinde ekilen pirinç tarlalarında artma olduğu ve 2022 yılında ise azalma olduğu

görülmüştür. Görseller incelendiğinde 2020 yılında azalma olmuş fakat 2021 yılında artma olduğu gözlemlenmiştir. 2022 yılından ise yeşil renklerin azalması ve sarı renklerin artması bize ekilen alanlarda azalma olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde LAI endeksinin Gönen alanı için doğru sonuç verdiğini göstermiştir.



Şekil 18. İpsala 2020-2021-2022 yıllarına ait LAI görüntüleri (yeşil alan=pirinç alanı turuncu alan=ekilmeyen alan ve kırmızı alan=toprak alanı)

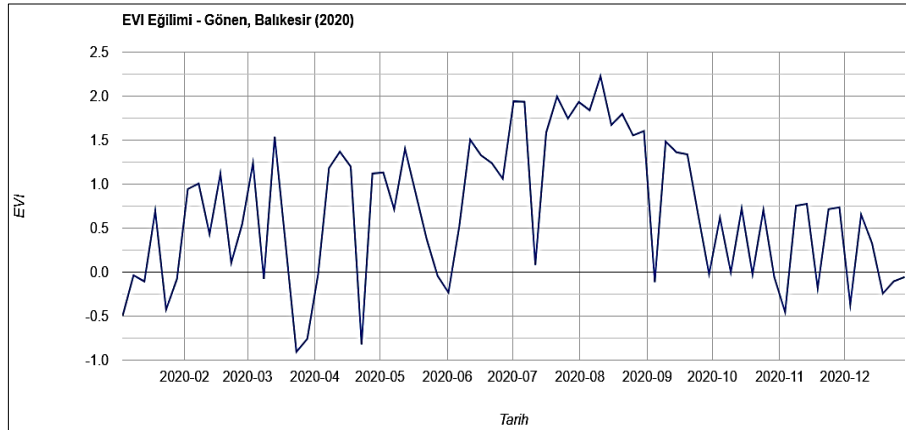
İpsala bölgesine ait 2020, 2021 ve 2022 yıllarına ait görseller değerlendirildiğinde sonuç görüntü olarak birbirlerine yakın sonuç görüntüleri oluşturmuştur. Bu görseller ile ilgili yeşil tonların daha az belirgin olduğu, bitki örtüsünde sağlıklı olarak azalma olduğunu çıkarımı yapılabilir. Bu durum, iklim değişikliği, toprak yapısındaki bozulmalar, doğal afetler veya sürdürülebilir olmayan arazi yönetimi gibi faktörlerden kaynaklanıyor

olabilir. TUIK'den alınan ekilen alan verilerine bakıldığında 2020 yılından İpsala da ekilen pirinç tarlalarında azalma olduğu görülmüştür. Bu sonuç görselinde 2021 ve 2022 yılında yeşil tonların belirgin bir şekilde değişmediği görülmüştür. Bu veriler bize LAI indeksinin İpsala alanı için tam olarak doğru sonuç vermediğini göstermiştir.

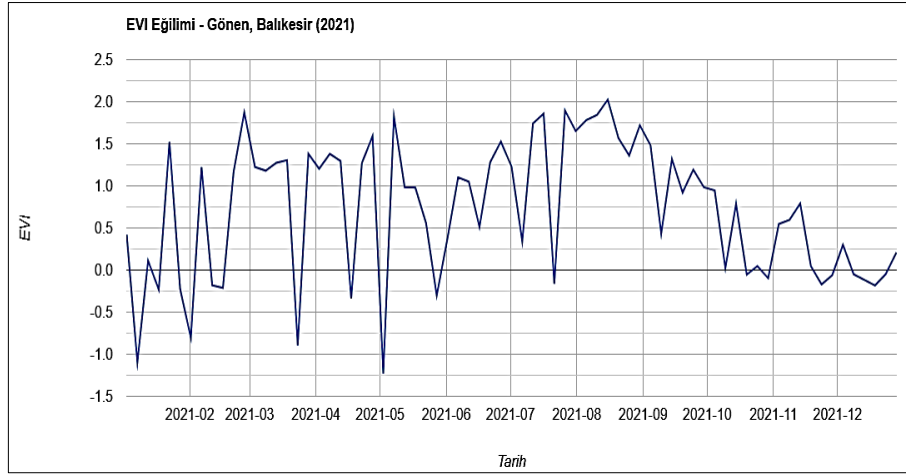
Çalışmada kullanılacak olan EVI, NDVI ve LAI endeksleriyle Google Earth Engine üzerinden çalışmalar yapılmıştır. Görüntüler incelendiğinde Gönen bölgesi için LAI'nin diğer endekslere göre daha keskin bir biçimde pirinç alanlarını analiz ettiği görülmüştür. İpsala bölgesi için ise NDVI endeksi pirinç alanlarının bulunmasında oldukça güzel sonuçlar vermiştir.

2.4. Endeks Eğilimlerinin Grafikleştirilmesi

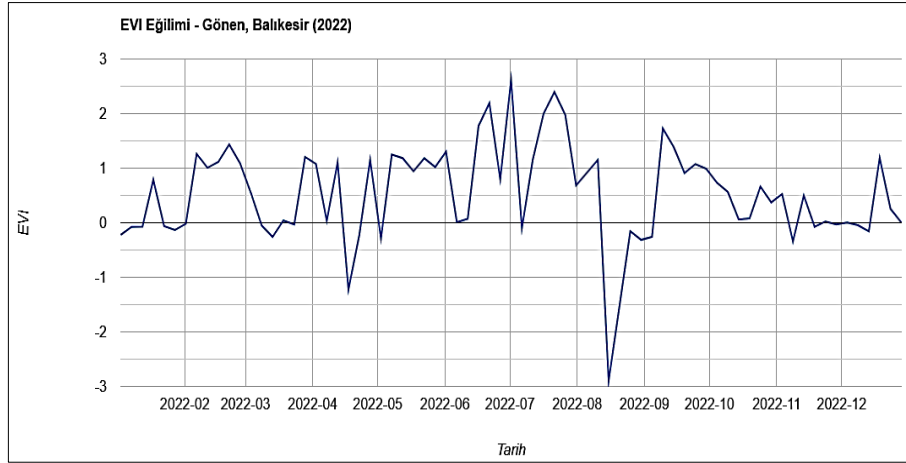
Endeks işlemi uygulanan görüntülerin eğilimleri hesaplanarak grafikler oluşturuldu.



Şekil 19. Gönen 2020 EVI eğilimi



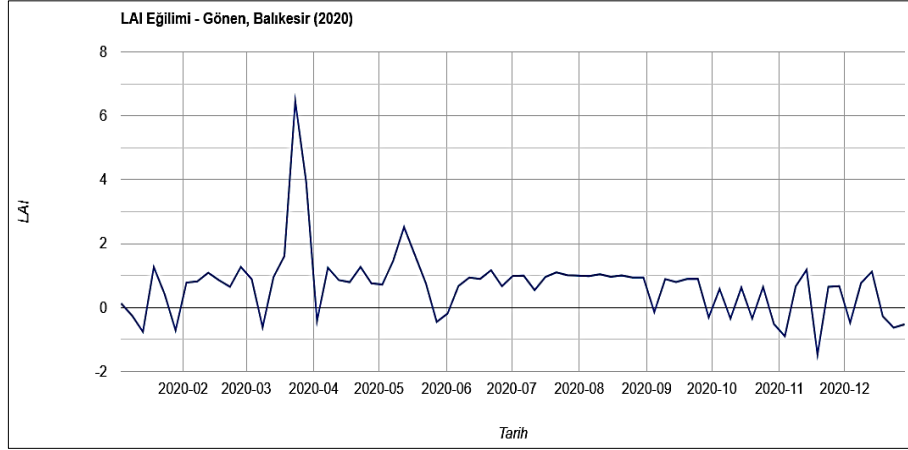
Şekil 20. Gönen 2021 EVI eğilimi



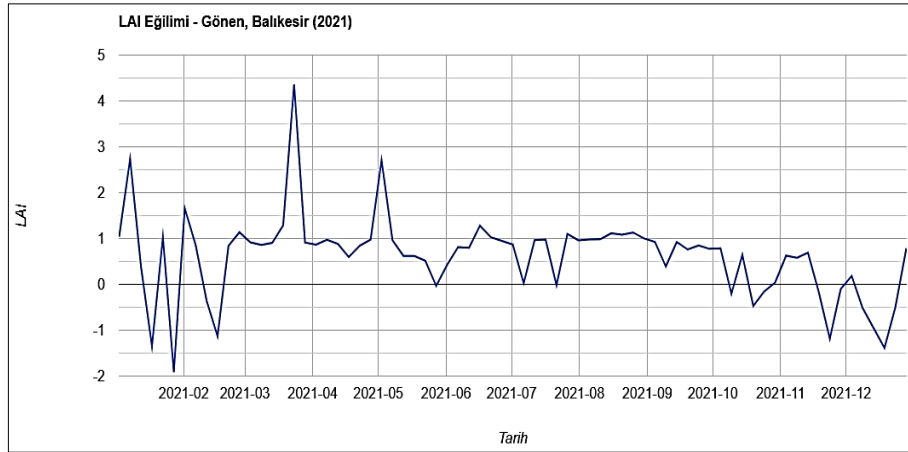
Şekil 21. Gönen 2022 EVI eğilimi

2020, 2021 ve 2022 yıllarına ait EVI eğilimleri incelendiğinde, her yıl bitki örtüsü dinamiklerinde farklı özellikler gösterdiği görülmektedir. 2020 yılında, ilkbahar ve yaz aylarında belirgin artış gözlenirken, sonbahar ve kış aylarında EVI değerleri düşüş sergilemiştir. 2021 yılı, dalgalı bir seyir izlemesine rağmen genelde pozitif bölgede kalmış ve ilkbahar aylarında güçlü bir artış göstermiştir; ancak yılın sonuna doğru EVI değerleri düşüş eğilimi göstermiştir. 2022 yılı ise diğer yıllara kıyasla daha dalgalı bir yapı sergilemiş, özellikle yaz aylarında ani yükseliş ve düşüşleri dikkat çekmiştir. Genel olarak bu üç yılın EVI eğimleri karşılaştırıldığında, 2020 ve 2021'in daha düzenli mevsimsel eğilimlere sahip olduğu, ancak 2022'nin daha dalgalı bir yıl olduğunu söylenebilir. Bu durumun sebebi, kuraklık, yeterli sulama yapılamaması ve iklim anormalliklerinden kaynaklanıyor olabilir. Ayrıca EVI indeksinin, olması gereken sonuçlardan farklı sonuçlar

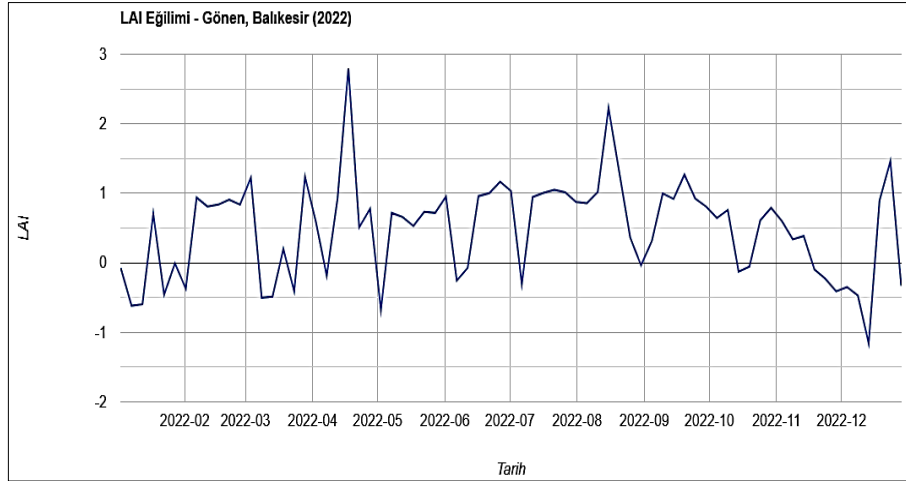
vermesi, yapılan maskenin yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum, özellikle bulut örtüsünün varlığı nedeniyle meydana gelir. Bulutlar, yüzeyin doğru şekilde tespit edilmesini engelleyerek indekxin değerlerini yanlış göstermesine yol açar. Maskenin yetersizliği, bu hatalı verilerin ortaya çıkmasına sebep olur, bu da analizlerde yanıltıcı sonuçlara neden olabilir.



Şekil 22. Gönen 2020 LAI eğilimi



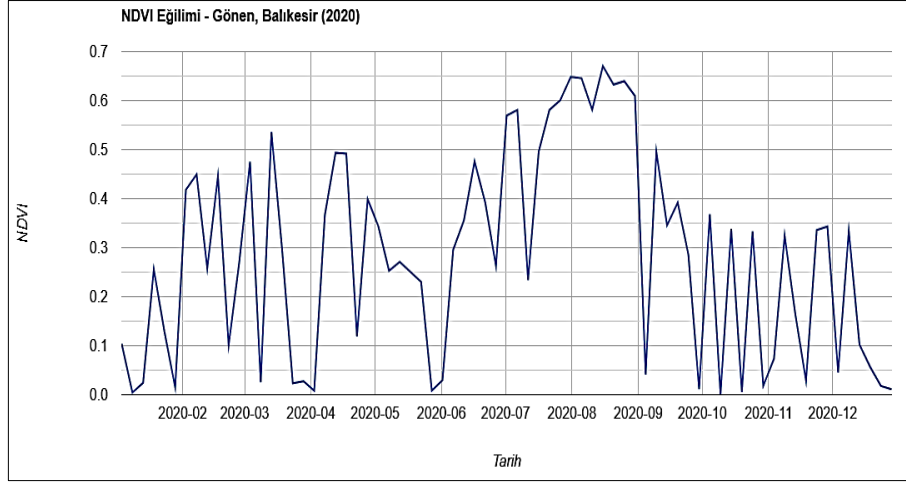
Şekil 23. Gönen 2021 LAI Eğilimi



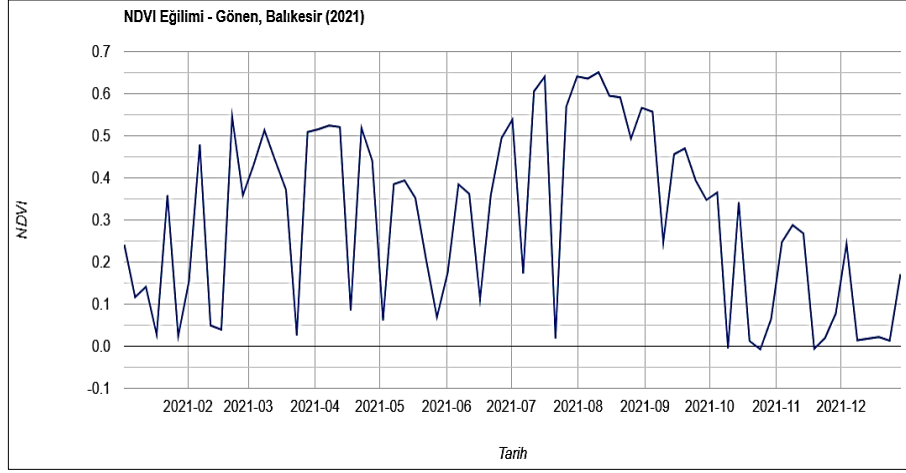
Şekil 24. Gönen 2022 LAI eğilimi

Gönen, Balıkesir bölgesinde 2020, 2021 ve 2022 yıllarına ait LAI değerleri üç yıl boyunca ilkbaharda bitki büyümesiyle artmış, yaz aylarında sıcaklık stresi ve su eksikliği nedeniyle düşüş göstermiş, sonbaharda ise yaprak dökümüyle azalmıştır.

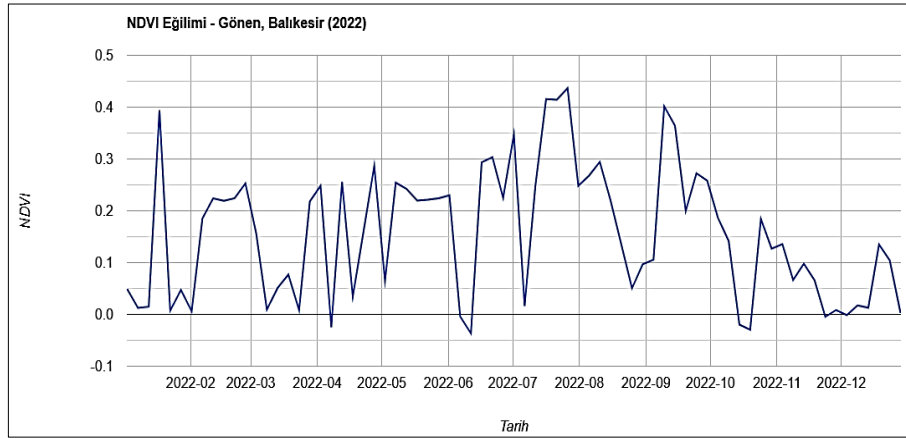
2020 yılında, ilkbahar yağışların yeterli olması LAI değerlerinde belirgin bir artış sağlamış, ancak yaz aylarındaki kuraklık büyüme hızını yavaşlatmıştır. 2021 yılında, bölgedeki yağış miktarının azalması ve yüksek sıcaklıklar nedeniyle LAI değerleri genelde 2020'ye göre daha düşük kalmıştır. 2022 yılında ise yağış ve sıcaklık koşullarının iyileşmesi, LAI değerlerindeki 2021'e kıyasla bir toparlanma sağlamıştır. Grafikteki dalgalanmaların sebebi, kuraklık, yeterli sulama yapılamaması ve iklim anormalliklerinden kaynaklanıyor olabilir. Ayrıca LAI indeksinin, olması gereken sonuçlardan farklı sonuçlar vermesi, yapılan maskenin yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum, özellikle bulut örtüsünün varlığı nedeniyle meydana gelir. Bulutlar, yüzeyin doğru şekilde tespit edilmesini engelleyerek indeksin değerlerini yanlış göstermesine yol açar. Maskenin yetersizliği, bu hatalı verilerin ortaya çıkmasına sebep olur, bu da analizlerde yanıltıcı sonuçlara neden olabilir.



Şekil 25. Gönen 2020 NDVI eğilimi



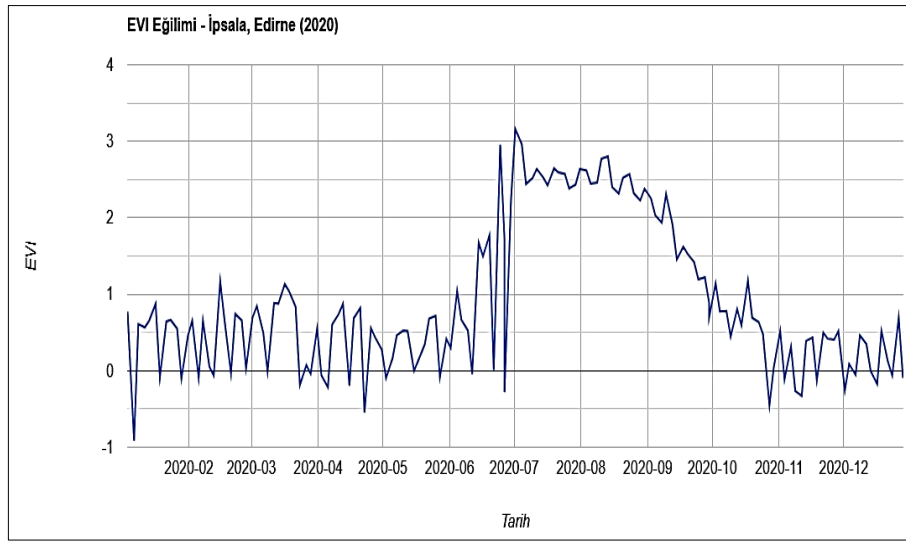
Şekil 26. Gönen 2021 NDVI eğilimi



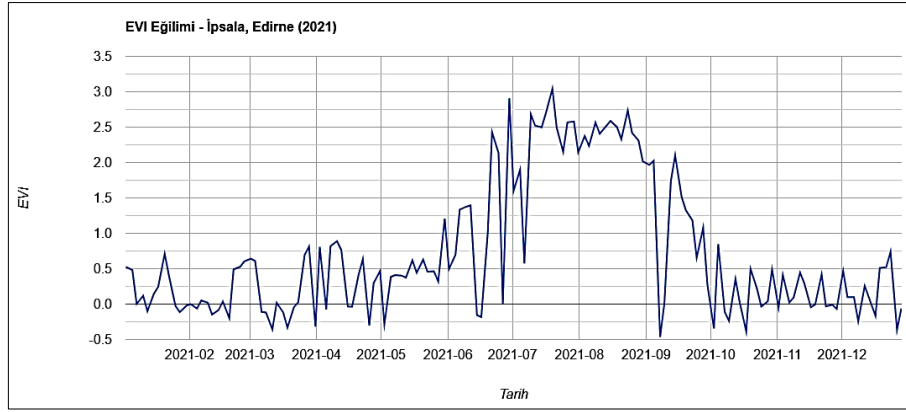
Şekil 27. Gönen 2022 NDVI eğilimi

Gönen, Balıkesir bölgesine ait 2020, 2021 ve 2022 yıllarının NDVI verileri, 2020 yılında yeterli yağış miktarı sayesinde bahar aylarında güçlü bir bitki örtüsü büyümesine sahne olmuş, yaz aylarında sıcaklık artışı sebebiyle ara ara düşüşler yaşansa da genelde yüksek değerler vermiştir. Ve sonbahar aylarında yapraklarında sararmasıyla birlikte düşük değerler vermiştir. 2021 yılı, daha düşük yağış miktarları ve artan sıcaklık ile birlikte, ortalama NDVI değerlerinde azalma yaşanan bir yıl olmuştur. Bu yıl, özellikle yaz aylarında bitki örtüsü üzerinde kuraklık etkisi belirgin hale gelmiştir. 2022 yılı, daha uygun iklim koşullarına sahip bir yıl olarak dikkat çekmiş ve NDVI değerleri, 2021'e kıyasla daha yüksek bir seviyeye ulaşmıştır. Bu toparlanma, bölgedeki bitki örtüsünün çevresel değişimlere dirençli olduğunu göstermektedir.

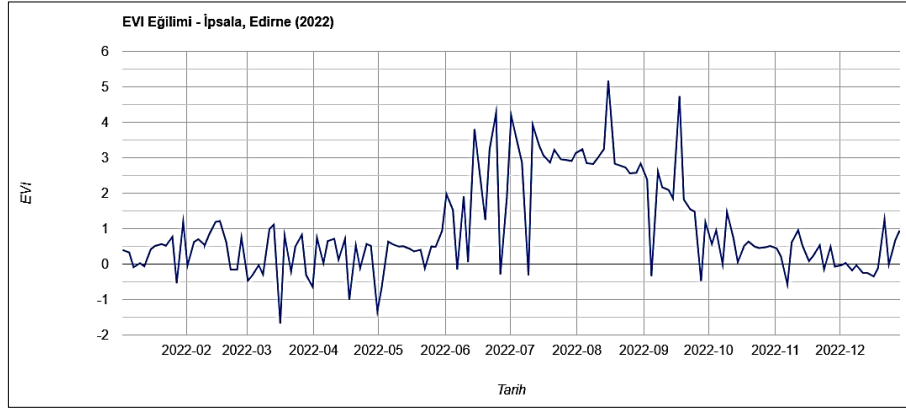
Gönen ilçesi için indeks eğilimleri karşılaştırıldığında NDVI endeksi daha tutarlı bir eğilim sergilemiştir. EVI ve LAI endekslerinde ise NDVI endeksine göre daha fazla dalgalanmalar olmuştur.



Şekil 28. İpsala 2020 EVI Eğilimi



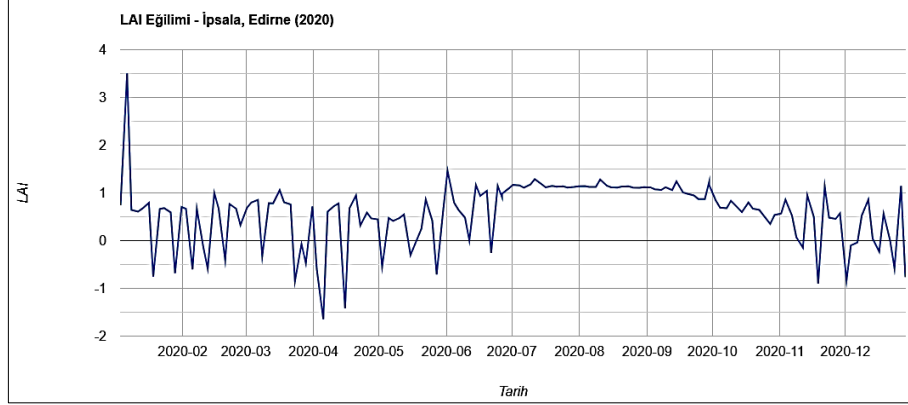
Şekil 29. İpsala 2021 EVI Eğilimi



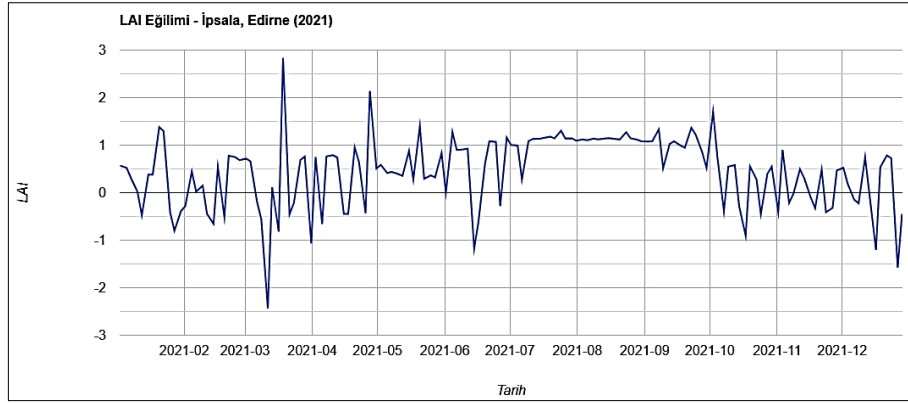
Şekil 30. İpsala 2022 EVI Eğilimi

2020, 2021 ve 2022 yılları için İpsala, Edirne bölgesindeki EVI değerlerini karşılaştırdığımızda, genel olarak mevsimsel dalgalanmaların benzerlik gösterdiği ancak bazı yıllarda belirgin farklılıklar olduğu görülmektedir. Özellikle 2022 yılında yaz aylarında EVI değerlerinde daha belirgin bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu durum, 2022 yılında bölgede yaşanan kuraklık ile ilişkilendirilebilir. Ayrıca, 2021 yılında bahar aylarında EVI değerlerindeki artışın daha hızlı olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, 2021 yılında bölgede daha fazla yağış olmasıyla açıklanabilir. Bu sonuçlar, bölgedeki bitki örtüsünün iklim değişikliğine duyarlı olduğunu ve özellikle kuraklık gibi aşırı hava olaylarından olumsuz etkilendiğini göstermektedir. Ayrıca 2022'deki EVI endeksinin, olması gereken sonuçlardan farklı sonuçlar vermesi, yapılan maskenin yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum, özellikle bulut örtüsünün varlığı nedeniyle meydana gelir. Bulutlar, yüzeyin doğru şekilde tespit edilmesini engelleyerek indeksin değerlerini yanlış

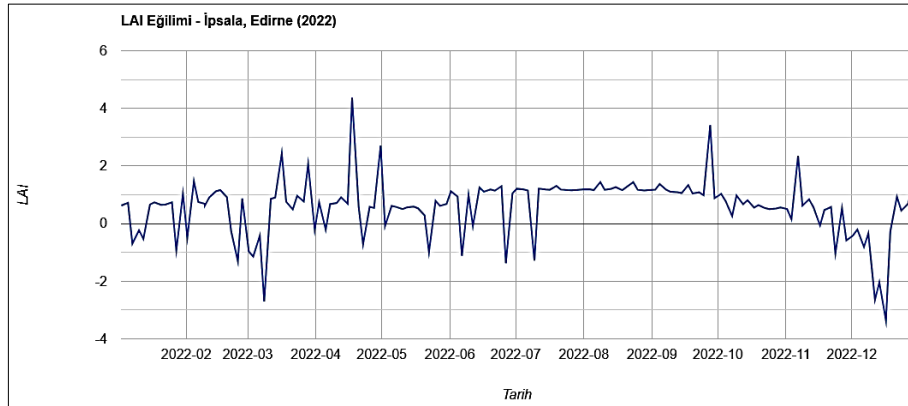
göstermesine yol açar. Maskenin yetersizliği, bu hatalı verilerin ortaya çıkmasına sebep olur, bu da analizlerde yanıltıcı sonuçlara neden olabilir.



Şekil 31. İpsala 2020 LAI eğilimi

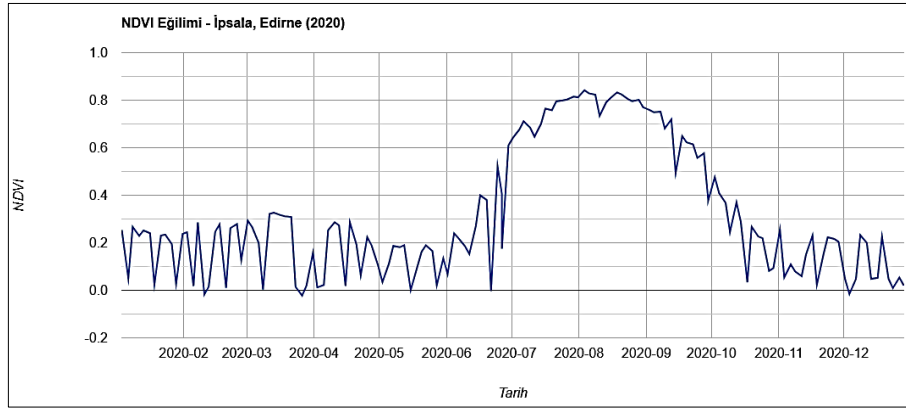


Şekil 32. İpsala 2021 LAI eğilimi

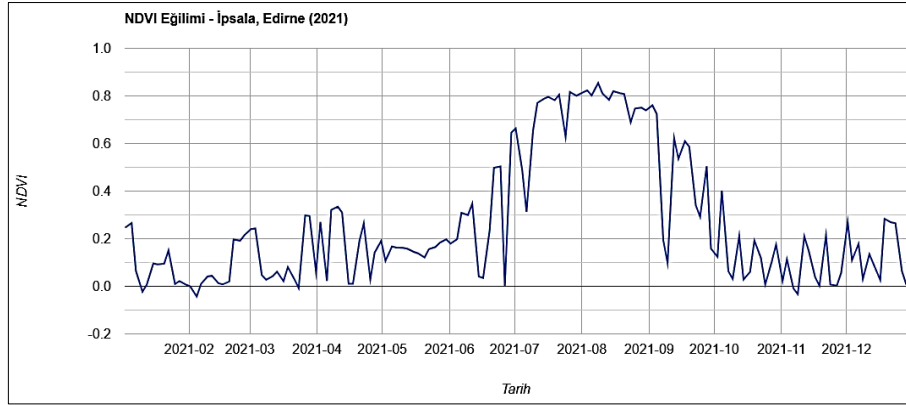


Şekil 33. İpsala 2022 LAI eğilimi

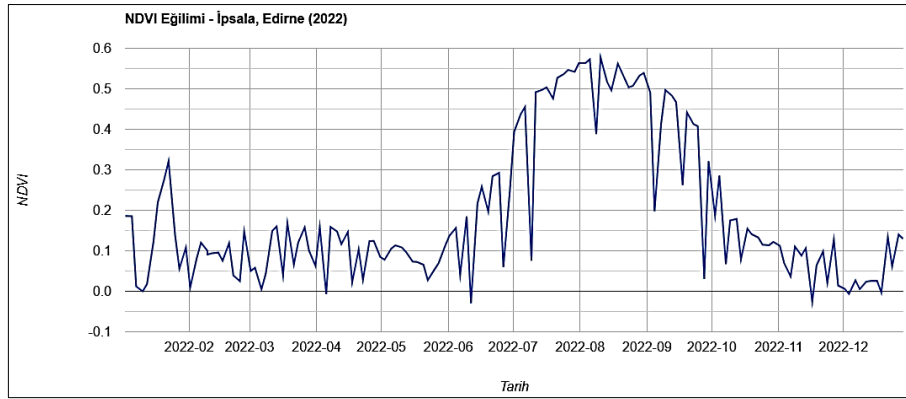
İpsala, Edirne’de 2020 yılında, LAI değerleri bahar aylarında hızlı bir artış göstermiş, yaz boyunca yüksek seviyelerde seyretmiş ve sonbaharda doğal bir düşüş yaşanmıştır. Bu dönem görülen dalgalanmalar, hava koşulları ve tarımsal faaliyetlerin etkisiyle açıklanabilir. 2021 yılında ise benzer bir mevsimsel döngü izlenmiş; baharda hızlı bir artış, yazın sabit bir seviyede devam eden bitki büyümesi ve sonbaharda belirgin bir düşüş görülmüştür. Yıl boyunca meydana gelen küçük dalgalanmalar, çevresel faktörlerin ve tarımsal uygulamaların etkisini yansıtmaktadır. 2022 yılında ise bitki örtüsü mevsimsel döngüye uygun olarak baharda hızlı bir artış, yazın sabit bir seviyede kalma ve sonbaharda düşüş göstermiştir. Bu yıl boyunca görülen dalgalanmalar, kuraklık veya aşırı sıcaklık gibi çevresel değişikliklerin etkisiyle ortaya çıkmış olabilir. Üç yıl boyunca genel olarak, İpsala bölgesindeki bitki örtüsünün sağlıklı bir büyüme gösterdiği, ancak çevresel değişikliği anlaşılmaktadır. Ayrıca LAI endeksinin, olması gereken sonuçlardan farklı sonuçlar vermesi, yapılan maskenin yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum, özellikle bulut örtüsünün varlığı nedeniyle meydana gelir. Bulutlar, yüzeyin doğru şekilde tespit edilmesini engelleyerek indeksin değerlerini yanlış göstermesine yol açar. Maskenin yetersizliği, bu hatalı verilerin ortaya çıkmasına sebep olur, bu da analizlerde yanıltıcı sonuçlara neden olabilir.



Şekil 34. İpsala 2020 NDVI eğilimi



Şekil 35. İpsala 2021 NDVI eğilimi



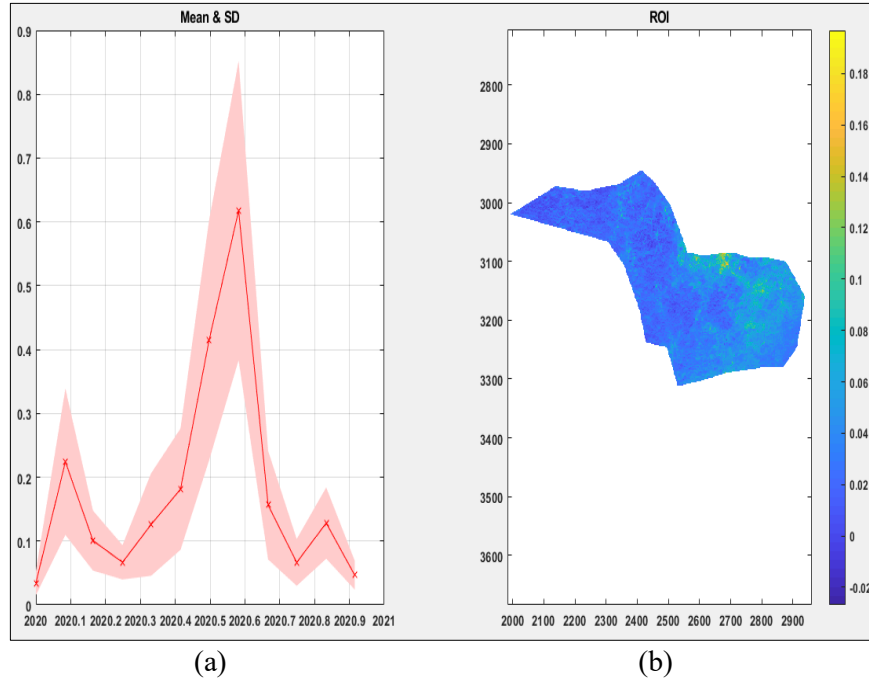
Şekil 36. İpsala 2022 NDVI eğilimi

İpsala, Edirne’de 2020 yılındaki NDVI grafiği, bitki örtüsünün bahar aylarında uyanmaya başladığını, yaz aylarında yoğunlaştığını ve sonbaharda yaprak dökümüyle birlikte düşüş yaşadığını ortaya koymaktadır. Kış aylarında ise NDVI değerleri en düşük seviyeye gerilemiştir. 2021 ve 2022 yıllarında da benzer bir mevsimsel döngü gözlemlenmiştir, ancak her iki yılın grafiklerinde çevresel faktörlerin etkisiyle bazı dalgalanmalar dikkat çekmektedir. Bu dalgalanmalar, hava koşulları, tarımsal faaliyetler ve diğer stres faktörlerinin bitki örtüsü üzerindeki etkilerini yansıtmaktadır.

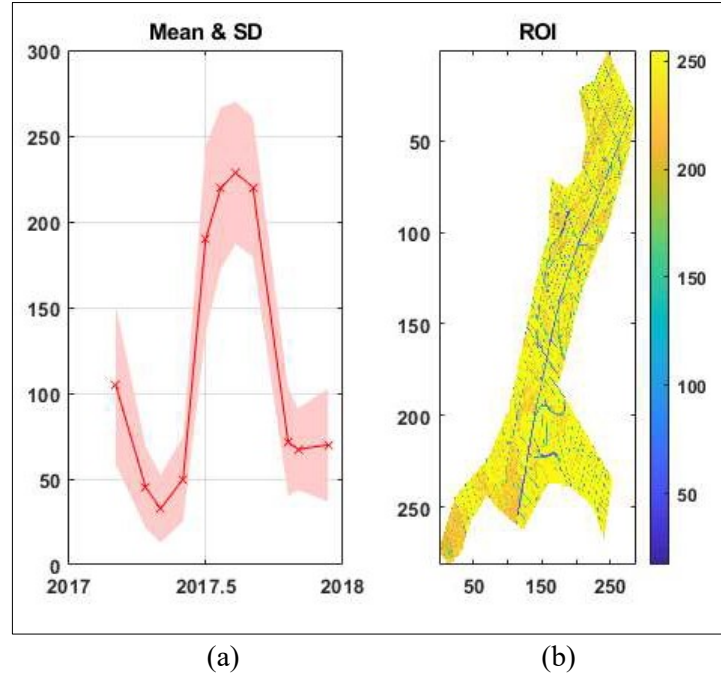
İpsala ilçesi için endeks eğilimleri karşılaştırıldığında dalgalanmalar olsa da 3 endeksinde güzel sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

2.5. Kesin Pirinç Alanlarının Belirlenmesi ve ROI Maske Oluşturulması

DATimeS, seçilen belirli bir alana ait görüntülerin üzerindeki her piksele ait yansıma değerlerini baz alarak ortalama bir yansıma değeri hesaplar (Belda, vd, 2020). Böylece ilgili bölgeye ait zaman serileri grafikleri oluşturur. Çalışmada seçilecek alanın mümkün olduğunca küçük seçilmesi, daha doğru ve güvenilir sonuçlar alınmasını sağlar. Ayrıca alanın küçük seçilmesi yapılacak işlemlerinin hızını da değiştirmektedir. Büyük alan seçiminde görüntülere uygulanacak işlemlerin süresi uzamaktadır. Bu yapılan çalışmalar ile de tespit edilmiştir. DatimeS kullanıcı arayüzünde, ROI (Analiz Bölgesi) seçebilme veya önceden oluşturulmuş ROI maskelerini yükleyebilme seçeneği sunmaktadır. Pirinç alanları kolay bir şekilde belirlenebildiği için uygulamada kullanılacak ROI maskesini DATimeS arayüzünün ROI maske arayüzünden oluşturuldu.



Şekil 37. ROI (b), ortalama ve standart sapma (a) gösterimi (Gönen)



Şekil 38. ROI (b), ortalama ve standart sapma (b) gösterimi (İpsala)

2.6. DATimeS’da Zaman Serisi Grafikleri ve Fenolojik Modellerinin Oluşturulması

DATimeS yazılımının analiz aşamasında, görüntüler programa yüklenmiştir. Bu görüntüler, .hdr ya da .tif formatında olabilir. Bu çalışmada, yazılıma .tif formatındaki görüntüler yüklendi. Görüntüler yüklendikten sonra, oluşturulan ROI maskesi yüklenmiştir. Ardından, Cloud Filter seçeneği kullanılarak analizin dışında tutulması gereken bulut örtüleri için filtre değerleri belirlenmiştir. Sonrasında bulut örtüsü ve aykırı yansımaların düzeltilmesini hedefleyen interpolasyon aşamasına geçilmiştir. DATimeS yazılımında yaklaşık olarak 30 farklı interpolasyon algoritması bulunmaktadır (Belda vd., 2020). Yapılan bir araştırmada, referans bir görüntü ile bu metotlar kullanılarak oluşturulan rekonstrüksiyon görüntüleri karşılaştırılmış ve metotların hata değerleri tespit edilmiştir (Belda vd., 2020). Yöntemler değerlendirildiğinde, en yüksek doğruluk GPR yöntemiyle %5,9 bağıl hata ve 0,913 R^2 değeri ile elde edilmiştir. İkinci en başarılı yöntem ise spline interpolasyonu olarak belirlenmiştir. En iyi performans gösteren diğer yöntemler KRR ve ardından sigmoid yöntemidir. Geri kalan yöntemler ise önemli ölçüde daha düşük performans sergilemektedir (Belda vd., 2020).

Bu çalışmaya başlanmadan önce GPR, KRR ve Spline enterpolasyon yöntemleri yapılan çalışma alanı için kullanılmıştır ve sonuçları değerlendirilmiştir.

Enterpolasyon sürecine ek olarak, düzgünleştirme (smoothing) teknikleri de dikkate alınabilir. Düzgünleştirme, boşluk doldurma ve fenolojik metriklerin hesaplanmasını kolaylaştırmanın yanı sıra, veri setinden gürültüyü azaltmak için kullanılan bir tekniktir. Bu bağlamda, DATimeS yazılımı altı farklı smoothing tekniği sunmaktadır. Savitzky-Golay (SG) smoothing işlemi için Savitzky-Golay tekniği tercih edilmiş ve elimizdeki NDVI, EVI, LAI indeksler üzerinde aynı enterpolasyon yöntemleri uygulanmıştır.

2.6.1. Savitzky-Golay (S-G) Smoothing Yöntemi

Huang vd., (2021) göre LAI verileri doğru bitki örtüsü bilgisi sağlayabilir. Bu kullanımlarını iyileştirmek için önemlidir ve bölgesel bitki örtüsü parametrelerinin zaman serileri için en etkili gürültü azaltma tekniklerinden biridir. S-G Düzeltme yönteminin formülü aşağıdaki gibidir (Huang vd., 2021):

$$Y_j = \frac{\sum_{i=-m}^{i=m} C_i Y_{j+1}}{N} \quad (4)$$

Burada Y_j uydurma değeri, $Y_j + 1$ yumuşatılacak orijinal değer, C_i i filtresinin katsayısı ve m yumuşatma penceresinin genişliğinin yarım filtresidir. N filtrenin uzunluğu olup, $2m + 1$ eşittir. Filtreyi zaman serisi yumuşatmasına uygularken; m ve yumuşatma polinom parametrelerinin (d) mertebesi belirlenmelidir. Genellikle, m 'nin daha büyük bir değeri daha pürüzsüz sonuçlar üretecektir, ancak önyargı oluşturabilir. d 'nin daha yüksek bir değeri filtrenin önyargısını azaltacaktır ancak verileri aşırı uydurabilir ve daha fazla gürültü oluşturabilir. Normal aralığı 2~4 olarak ayarlanmıştır. Bu çalışmada m ve d sırasıyla 7 ve 2 olarak seçilmiştir.

2.6.2. Gaussian Process Regression (GPR)

GPR, makine öğrenimi alanında dalgalı yaratan, parametrik olmayan (yani işlevsel bir formla sınırlı olmayan) bir Bayes yaklaşımıdır (Ramussen & Williams 2006; Verrelst vd., 2011). Bu nedenle, belirli bir işlevin parametrelerinin olasılık dağılımını hesaplamak yerine, GPR, verilere uyan tüm kabul edilebilir işlevler üzerindeki olasılık dağılımını

hesaplar. GPR'nin küçük veri kümelerinde iyi çalışması ve tahminler üzerinde belirsizlik ölçümlerini sağlama yeteneği gibi çeşitli avantajları vardır.

Giriş olarak B bantları spektrumları $x \in \mathbb{R}^B$ ile çıkış değişkeni olarak kanopi parametresi $y \in \mathbb{R}$ arasındaki ilişki aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi formüle edilebilir (5), (Verrelst vd., 2013);

$$y = f(x) = \sum_{i=1}^N a_i K(x_i, x) \quad (5)$$

Eğitim adımında kullanılan spektrumları $\{x_i\}_{i=1}^N$ nereden, $a_i \in \mathbb{R}$ her biri için ağırlık, K DATimes'de denklem (6) 'daki gibi Kare Üstel Gauss çekirdek fonksiyonu olarak seçilebilir (Rasmussen & Williams, 2006).

$$K(x_i, x_j) = \exp\left(-\frac{2 \sin^2\left(\frac{x_i - x_j}{2}\right)}{l^2}\right) \quad (6)$$

$$\left((\cos(x_i) - \cot(x_j))^2 + (\sin(x_i) - \cos(x_j))^2\right) = 4 \sin^2\left(\frac{x_i - x_j}{2}\right)$$

v ölçeklenme faktörü, σ_b her spektral bant için ilişkinin yayılmasını kontrol eder, gürültü standart sapmasıdır ve δ_{ij} Kronocker sembolüdür. Eklemeli Gauss gürültü modeli ($y = f(x) + \epsilon$) sıfır ortalama ve standart sapma (σ_n) ile varsayılır. Yığılmış çıktı değerleri denklem (7)'ye göre dağıtılır:

$$\begin{pmatrix} y \\ f(x_*) \end{pmatrix} \sim N\left(0, \begin{pmatrix} K + \sigma_n^2 I & k_* \\ k_*^T & k_{**} \end{pmatrix}\right) \quad (7)$$

Bu durumda Gauss dağılımı olan posterior dağılım, test aşamasında GPR için nokta bazlı tahmini ortalama (μ_{GP^*}) ve tahmini varyansı ($\sigma_{GP^*}^2$) hesaplamak amacıyla bilinmeyen çıktı üzerinde gerçekleştirilir, aşağıdaki denklem (8)'de olduğu gibi:

$$\begin{aligned} \mu_{GP^*} &= k_*^T (K + \sigma_n^2 I)^{-1} y \\ \sigma_{GP^*} &= k_{**} - k_*^T (K + \sigma_n^2 I)^{-1} k_* \end{aligned} \quad (8)$$

2.6.3. Kernel Ridge Regression (KRR)

KRR, sırt regresyonunun parametrik olmayan bir biçimidir. Amaç, ilgili çekirdek k tarafından oluşturulan uzaydaki bir fonksiyonu, karesel norm düzenleme terimiyle karesel kaybı en aza indirerek öğrenmektir (Kernel Ridge Regression- Shogun). Formülasyon aşağıdaki gibi verilebilir (Suykens & Vandewalle,1999):

$x_i \in R^N$ Spektrumu $y_i \in R^M$ durum vektörleri olsun, n eğitim örneğinin $i=1,...,n$ indeksini gösterir. Doğrusal en küçük kareler regresyonu, örneklerin $\phi(x_i)$ eşlemesi yoluyla eşlendiği bir Hilbert uzayında, H'de gerçekleştirir. Matris gösteriminde, model aşağıdaki denklem (9)'da olduğu gibi verilir.

$$Y = \phi W + b \quad (9)$$

Burada ϕ , eşlenen örneklerin matrisi $[\phi(x_1), \phi(x_2), \dots, \phi(x_n)]^T$. Daha sonra, düzenli kare kayıp fonksiyonu $L_p = ||Y - \phi W||^2 + \lambda ||W||^2$, model ağırlıkları W'ye göre en aza indirilir. Sıfır ortalaması ve σ_n standart sapması $E \sim N(0, \sigma_n^2 1)$ olan bir katkısız Gauss gürültüsü $Y = Y + E$ varsayılır. Son adımda X, yeni bir test örnekleri matrisi için öngörülen değeri bulmak için kullanılır. Bu, aşağıdaki denklemde (10) olduğu gibi çözüm W'ye yansıtılarak hesaplanır;

$$Y \cdot = \phi \cdot W = \phi \cdot \phi^T \alpha = K \cdot \alpha \quad (10)$$

Burada $\alpha = (\phi \phi^T + \lambda I)^{-1} Y$ ve DTimeS K, Gomez-Chova vd., (2011) tarafından verilen çapraz doğrulama stratejisiyle parametrelerin optimize edildiği Radyal Tabanlı Çekirdek Fonksiyonu $K(x_i, x_j) = \exp\left(-\frac{||x_i - x_j||^2}{2\sigma^2}\right)$ olarak seçilir.

En sık kullanılan Karesel Üstel Kovaryans fonksiyonuna, ilişkili çekirdek parametreleriyle (yani uzunluk ölçeği, sinyal varyansı ve gürültü varyansı) özel dikkat gösteriyoruz. KRR durumu için iki parametre ayarlanır: Düzenleme terimi ve bir RBF çekirdek uzunluk ölçeğidir. Spline durumu için, bir sorgu noktasındaki enterpole edilmiş değer, her bir ilgili boyuttaki komşu ızgara noktalarındaki değerlerin kübik enterpolasyonuna dayanır.

2.6.4. Spline Method

Spline ,interpolantın spline adı verilen özel bir parçalı polinom türü olduğu bir enterpolasyon yöntemidir. Spline enterpolasyonu, aralıkların her birinde düşük dereceli polinom kullanır ve polinom parçalarını düzgün bir şekilde birbirine uyacak şekilde seçer. Ayrıca, spline enterpolasyonu, giriş noktalarından geçen düzgün bir yüzeyle sonuçlanan tüm yüzey eğriliğini en aza indirerek değerleri tahmin etmeyi amaçlar. Spline fonksiyonları. Aşağıdaki denklemlerde (11) ve (12) olduğu gibi basitlik için iki sonsuz bölüm üzerinde incelenebilir (Boor, 1972);

$$M_{i,k}(t) = g_k(t_i, \dots, t_{i+k}; t) \quad (11)$$

Burada k pozitif bir tam sayıdır ve B-Spline $M_{i,k}(t)$, sabit t için $t_i, \dots, t_{i+k}$ üzerindeki s'nin k'ncı bölü farkı $g_k(s; t)$ olarak verilir.

$$g_k(s; t) = (s - t)_+^{k-1} = \begin{cases} (s - t)^{k-1} & s \geq t \\ 0 & s < t \end{cases} \quad (12)$$

Enterpolasyonun gerçekleştirilmesinin ardından zaman serisi grafikleri yazılım tarafından otomatik olarak oluşturulur.

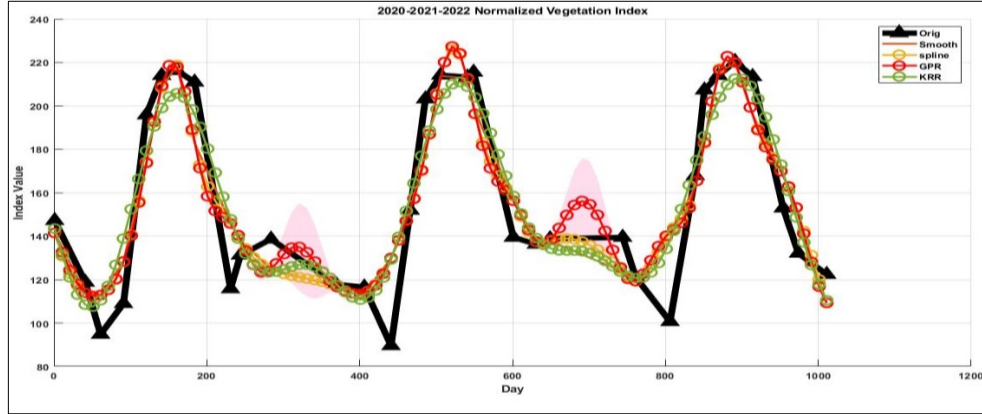
Üzerinde çalışılan verilerin tutarlılığını değerlendirmek amacıyla, en güçlü üç enterpolasyon yöntemi olan Gaussian Process Regression (GPR), Spline ve Kernel Ridge Regression (KRR) kullanılmıştır. Bu yöntemler, birbirine yakın sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamış ve benzer grafiksel çıktılar sunmuştur. Bu bilgilere aşağıdaki tablo ve grafiklerde yer verilmiştir. Yapılan bu işlemler sonucunda enterpolasyon süreci tamamlanmış ve zaman serileri grafikleri başarılı bir şekilde oluşturulmuştur.

Tablo 4. Görüntülere uygulanan GPR, KRR, Spline enterpolasyonlarının sonuçları

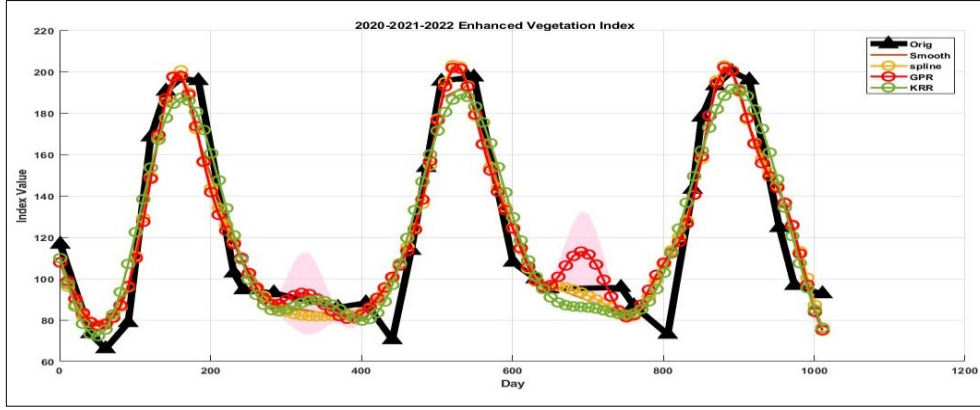
Methods	Indices	RMSE	RRMSE(%)	Total Time (average)
GPR	NDVI	0.048	5.150	12.5 min
	EVI	0.065	7.850	
	LAI	0.270	8.300	
KRR	NDVI	0.039	4.956	1.6 min
	EVI	0.077	8.563	
	LAI	0.272	8.745	
SPLINE	NDVI	0.042	4.753	0.30 min
	EVI	0.085	9.267	
	LAI	0.275	9.560	

Bu sonuçlardan yola çıkarak ve RMSE değerleri doğrultusunda değerlendirilme yapıldığında;

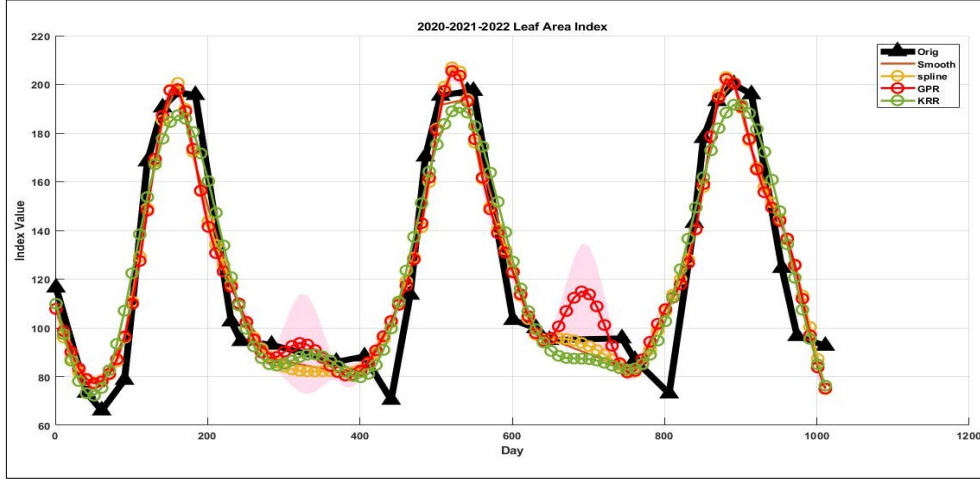
LAI ve EVI endeksi için en iyi sonuç veren endekslerin sıralaması $GPR > KRR > SPLINE$, NDVI endeksi için ise bu sıralama $KRR > SPLINE > GPR$ olarak belirlenmiştir. Süre olarak sıralama yaparsak eğer $SPLINE > KRR > GPR$ olduğu görülmüştür. Süre bir dezavantaj olarak görülse de burada dikkat edilmesi gereken RMSE (Root Mean Square Error) değeridir.



Şekil 39. Enterpolasyon sonucu oluşturulan NDVI zaman serisi grafikleri

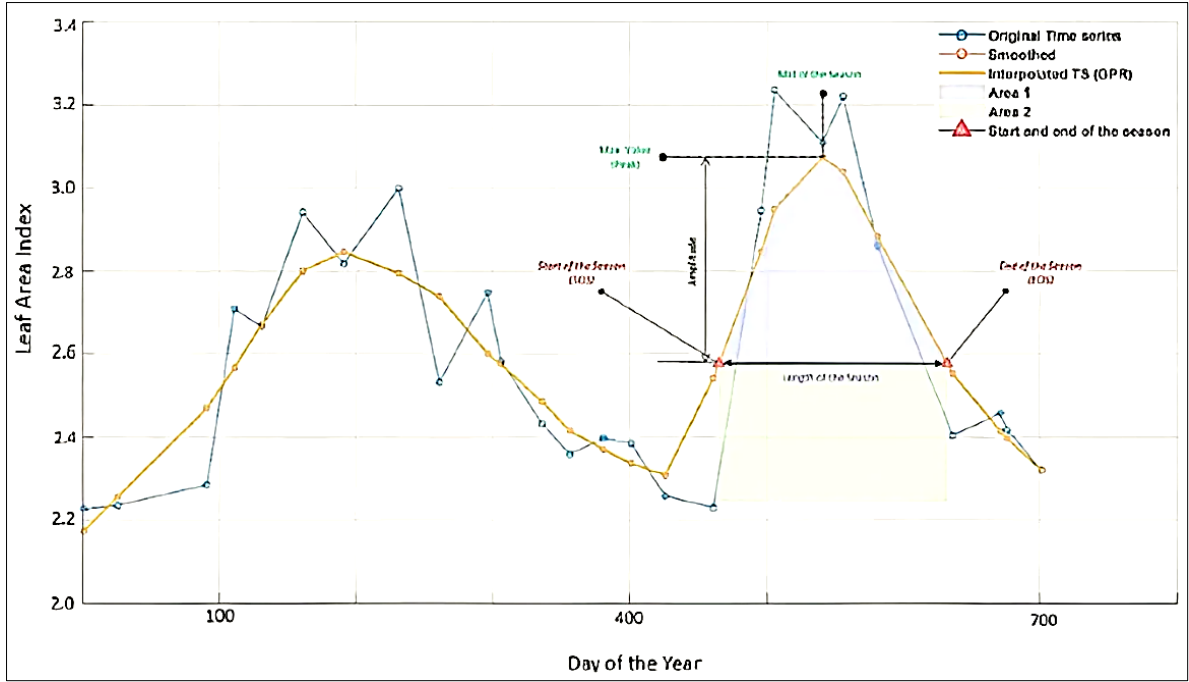


Şekil 40. Enterpolasyon sonucu oluşturulan EVI zaman serisi grafikleri

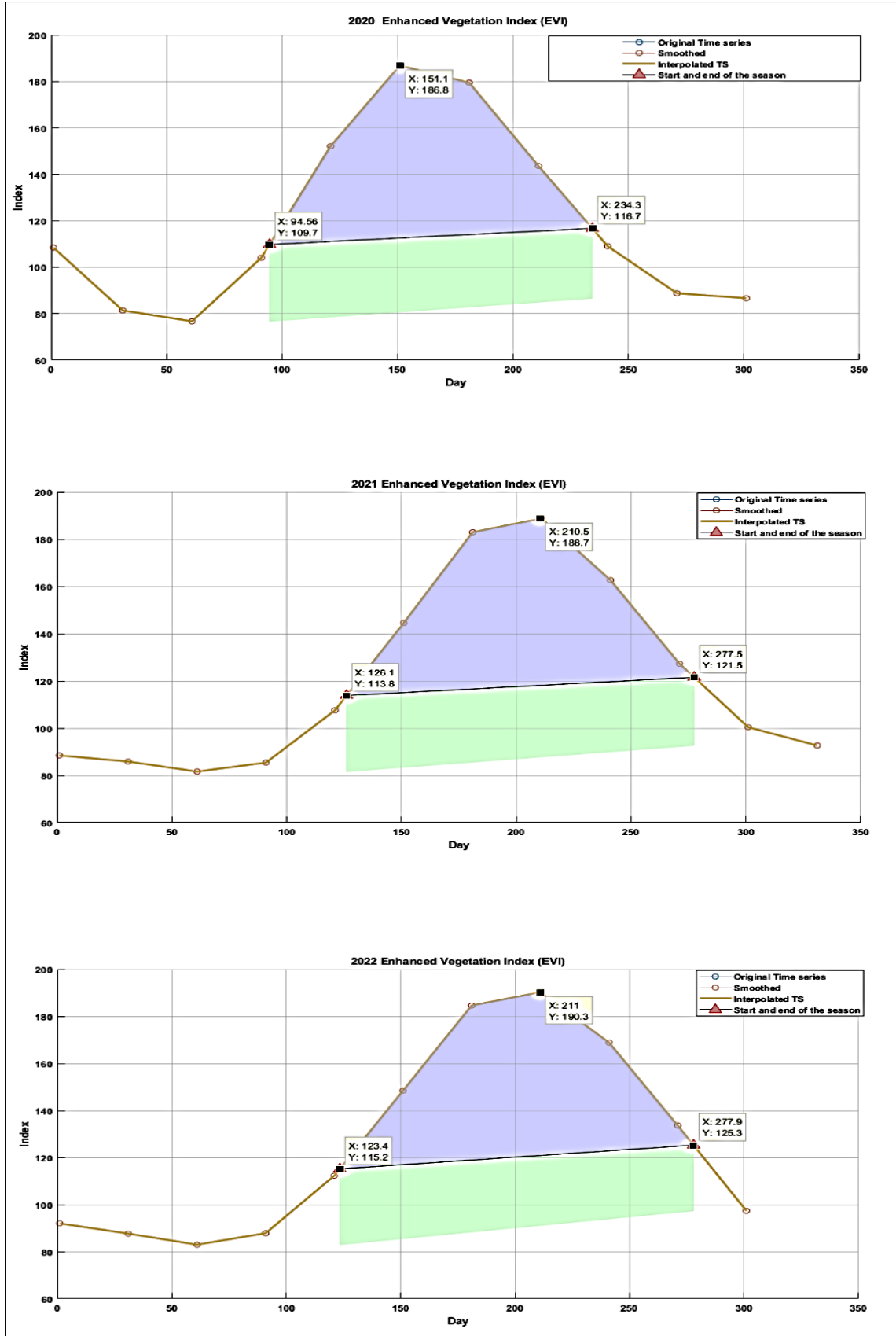


Şekil 41. Enterpolasyon sonucu oluşturulan LAI zaman serisi grafikleri

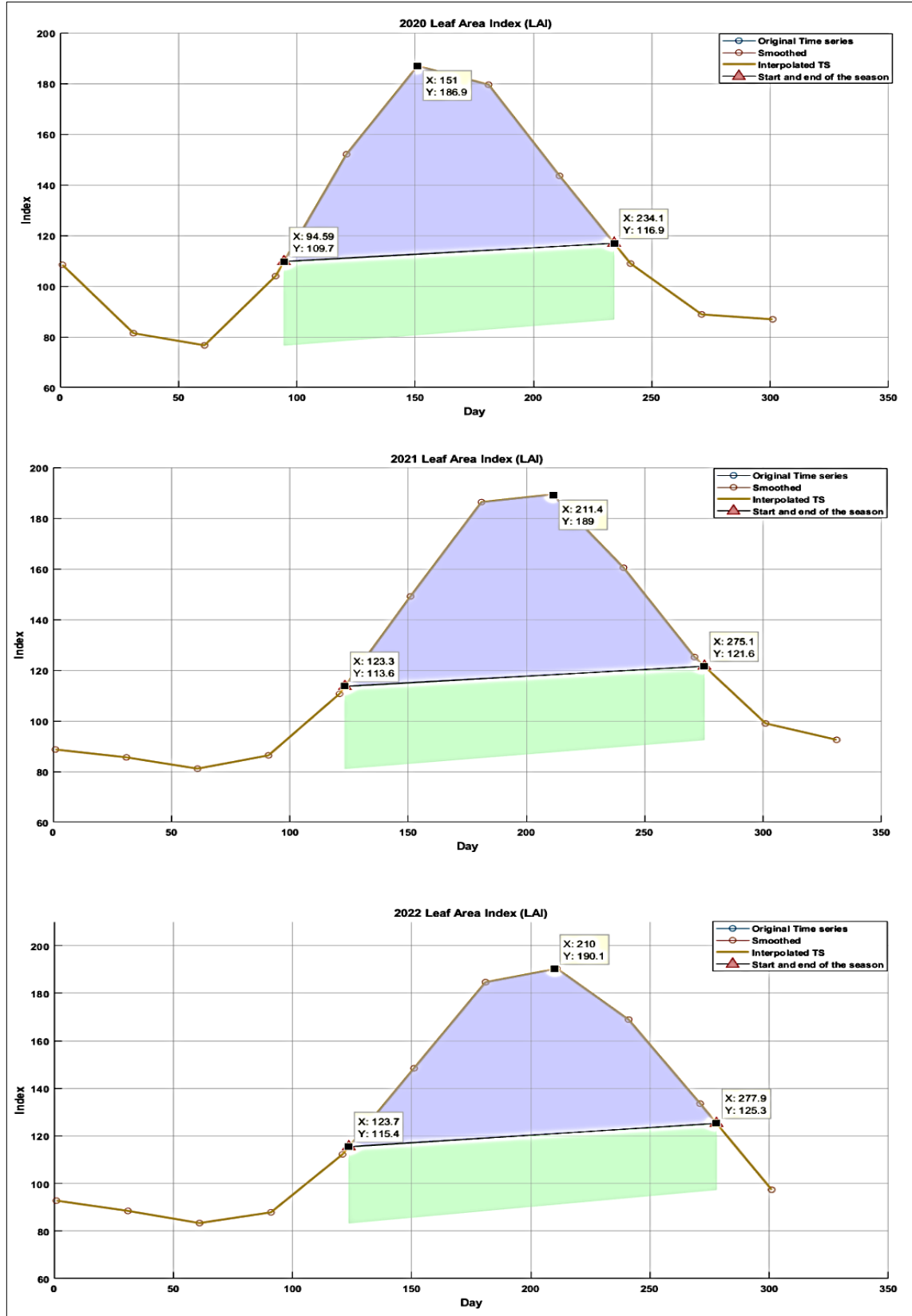
Enterpolasyon ve zamansal seri grafikleri oluşturulduktan sonra fenolojik modellerin oluşturulma aşamasına geçilmiştir. Fenolojik modeller, sadece GPR ile enterpolasyon edilmiş veriler kullanılarak oluşturulmuştur. Fenolojik metrikler, yani Sezonun Başlangıcı (SOS), Sezonun Sonu (EOS), Sezonun Uzunluğu (LOS), Maksimum (Maks) değer günüdür. Değerler DATimeS’da üretilen fenoloji modellerinden elde edildi. İki sezon için %40 Relative Amplitude kullanılarak çizimde fenolojik metriklerin grafikte neyi ifade ettiği şekil 44’de gösterilmiştir.



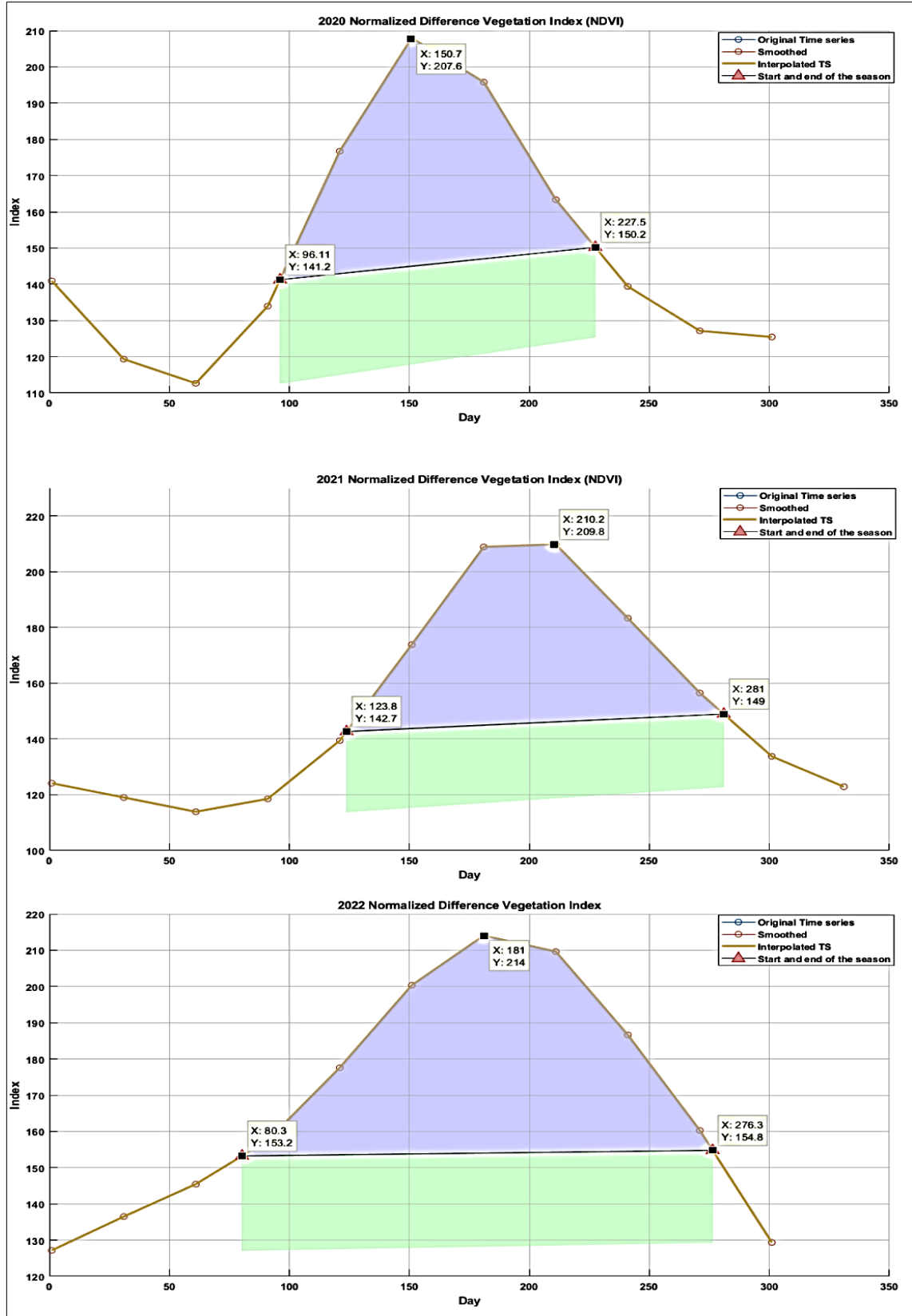
Şekil 42. İki mevsim için %0 bağıl genlik kullanılarak gösterilen fenolojik metrikleri



Şekil 43. EVI 2020-2021-2022 fenolojik göstergeler grafikleri

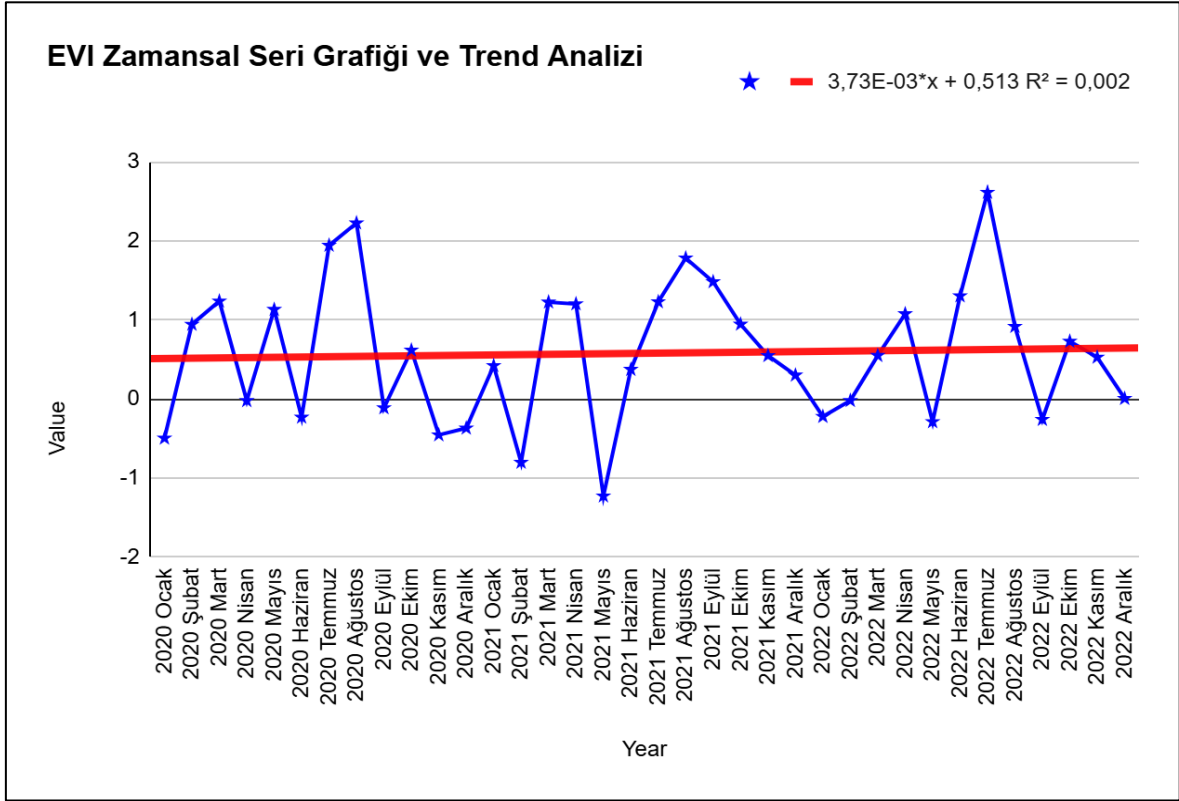


Şekil 44. LAI 2020-2021-2022 fenolojik göstergeler grafikleri



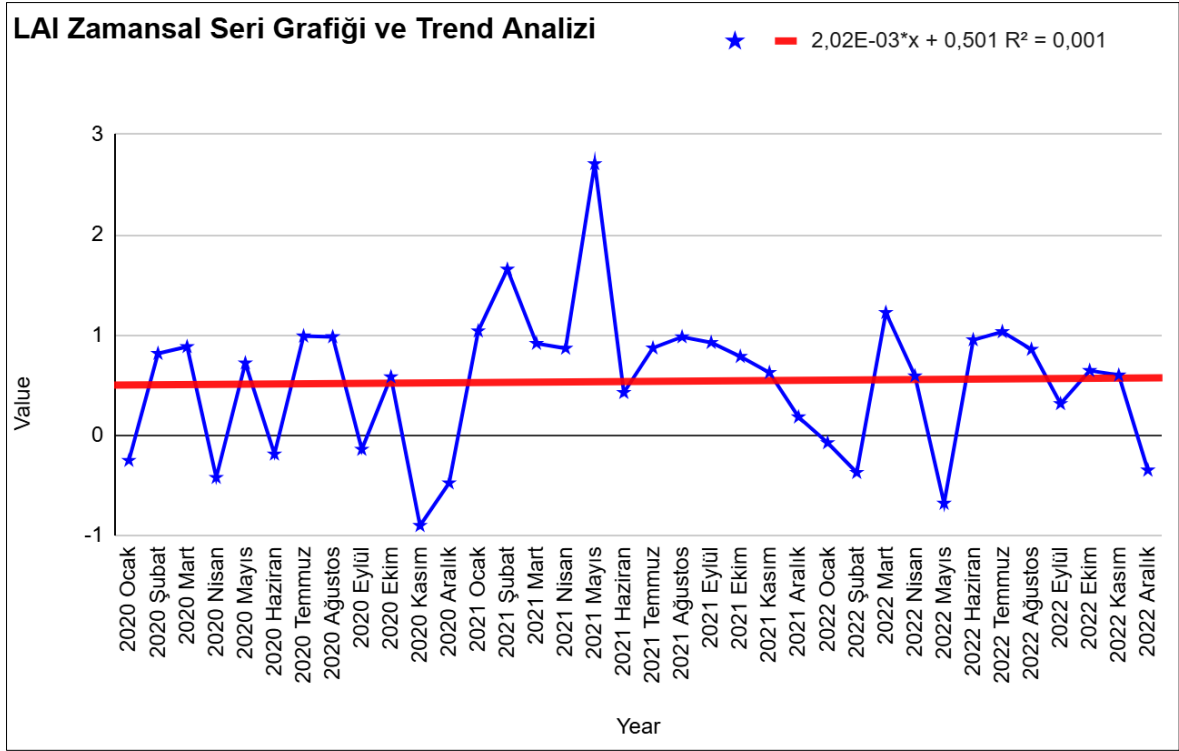
Şekil 45. NDVI 2020-2021-2022 fenolojik göstergeler grafikleri

2.7. Zaman Serisi Trend Analizi Grafiklerinin Oluşturulması



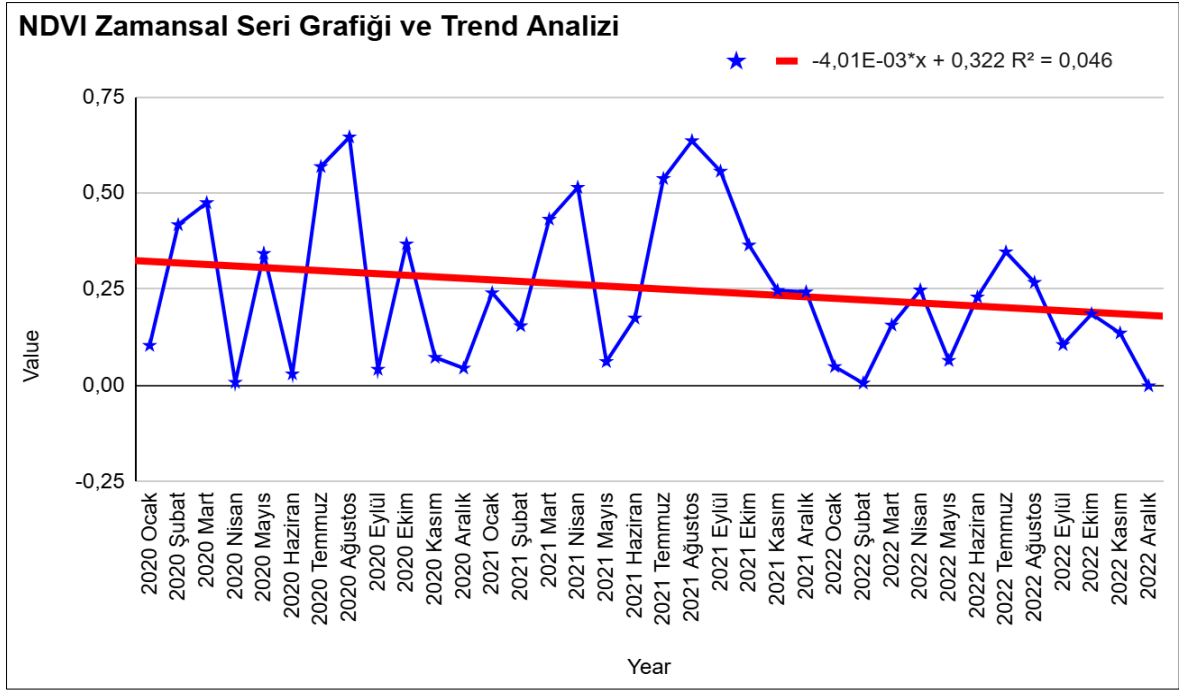
Şekil 46. EVI zaman serisi ve doğrusal trend grafiği (Gönen)

Gönen bölgesine ait EVI zaman serisi grafikleri, 2020-2022 yılları arasındaki bitki örtüsü durumunu ve değişimlerini ortaya koymaktadır. EVI grafiğinde, bitki örtüsünü sağlığını ve fotosentetik aktivitesini temsil eden değerlerin dalgalandığını, özellikle büyüme dönemlerinde yükseldiği, diğer dönemlerde ise azaldığı görülmektedir. Ancak trend çizgisi neredeyse yatay bir eğilim göstermekte olup, uzun vadede net bir artış ya da azalış eğilimi olmadığını göstermektedir. R^2 değerinin 0.002 gibi oldukça düşük bir seviyede olmasıyla da desteklenmektedir. Artış ve azalışın belirgin olmaması, bölgedeki iklim koşullarının, toprak özelliklerinin veya insan faaliyetlerinin bitki örtüsü üzerindeki etkilerinin dengede olduğunu veya birbirini dengelediğini düşündürebilir.



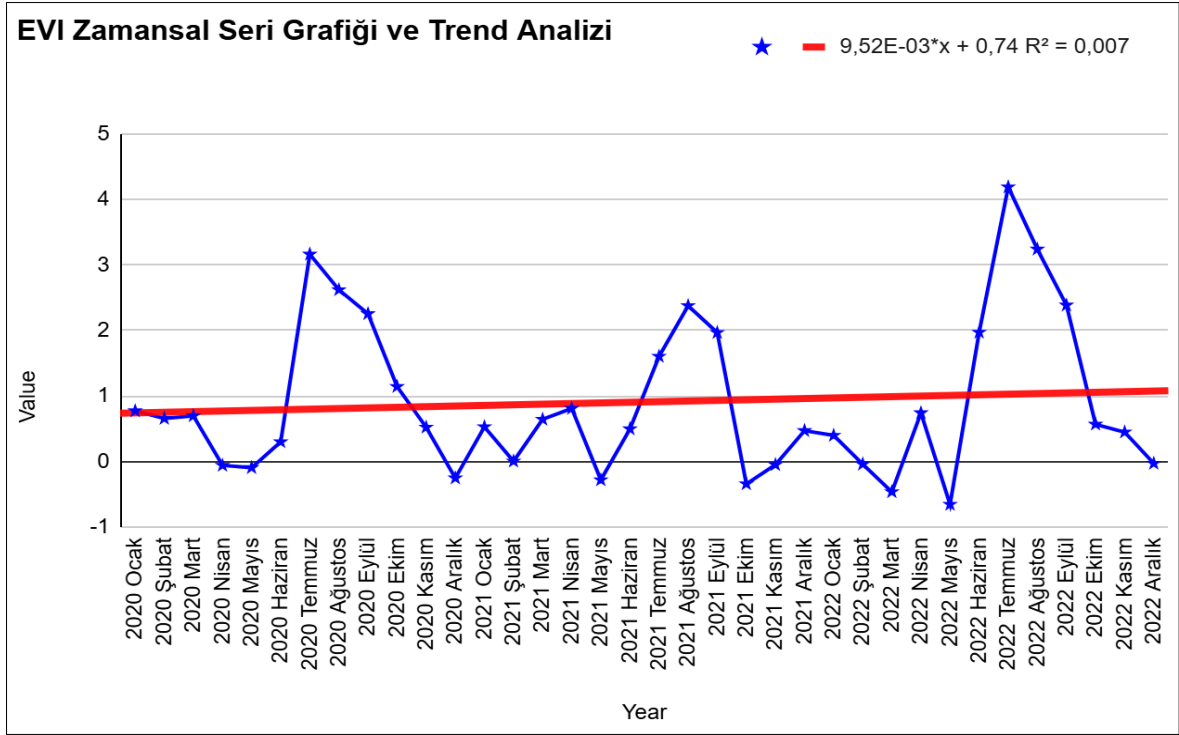
Şekil 47. LAI zaman serisi ve doğrusal trend grafiği (Gönen)

LAI grafiği, bitki yaprak alanının yoğunluğunu temsil eden değerlerin dalgalanmasını yansıtırken, trend çizgisi hafif bir pozitif eğilim göstermekte, ancak bu eğilim oldukça zayıf kalmaktadır. R^2 değerinin 0.001 olması, LAI'nin uzun vadede açıklanabilir bir değişim göstermediğini ifade etmektedir. Artış ve azalışın belirgin olmaması, bölgedeki iklim koşullarının, toprak özelliklerinin veya insan faaliyetlerinin bitki örtüsü üzerindeki etkilerinin dengede olduğunu veya birbirini dengelediğini düşündürülebilir.



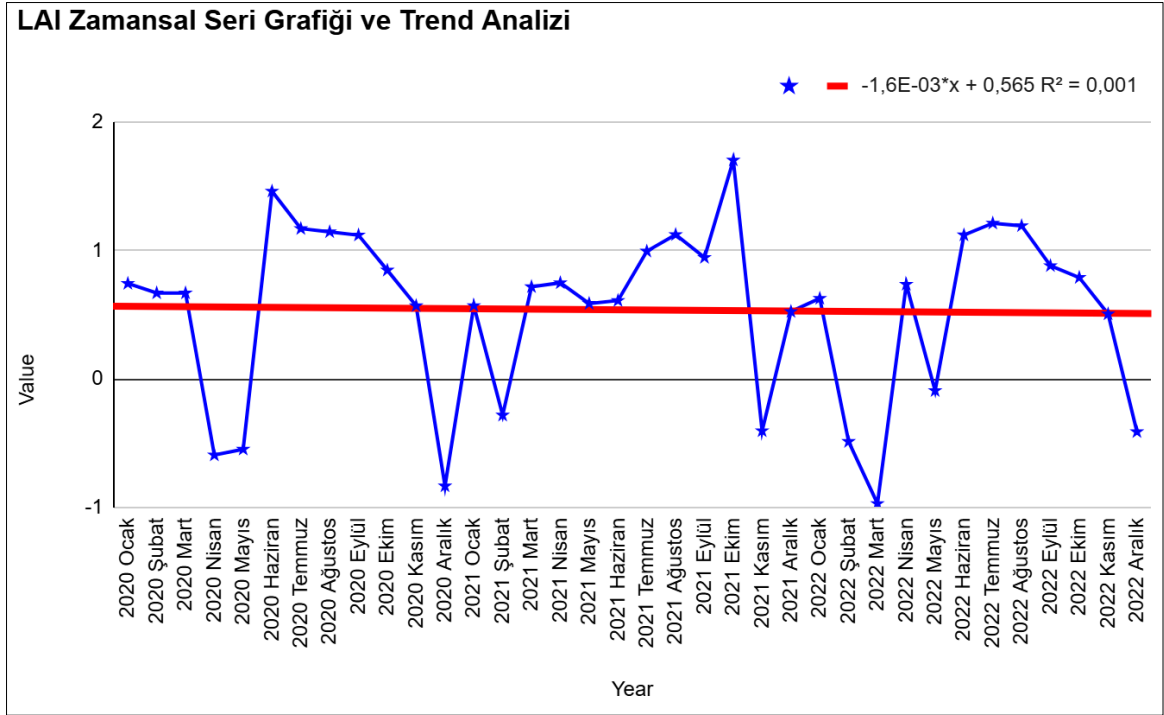
Şekil 48. NDVI zaman serisi ve doğrusal trend grafiği (Gönen)

NDVI değerlerinin genel trendini göstermektedir. Bu çizginin hafif negatif eğimli olması, incelenen bölgedeki bitki örtüsünün zaman içinde azalma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Ancak, trend çizgisine ait R^2 değeri 0.046 olarak verilmiş olup, bu değer çok düşük olduğundan trendin istatistiksel olarak anlamlı olduğu söylenemez. Bu verilerde belirgin bir değişiklik olmadığı eğilimini göstermektedir. Artış ve azalışın belirgin olmaması, bölgedeki iklim koşullarının, toprak özelliklerinin veya insan faaliyetlerinin bitki örtüsü üzerindeki etkilerinin dengede olduğunu veya birbirini dengelediğini düşündürülebilir.



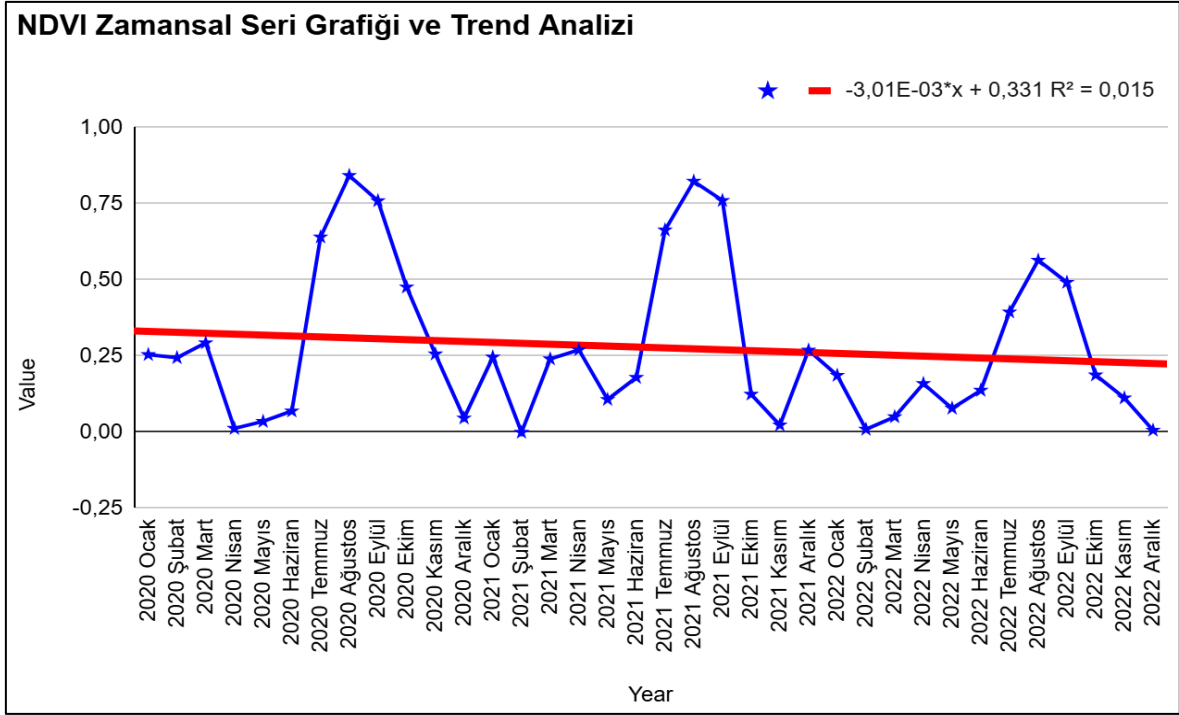
Şekil 49. EVI zaman serisi ve doğrusal trend grafiği (İpsala)

EVI değerlerinin genel trendini göstermektedir. Trend çizgisine ait R^2 değeri 0.007 olarak verilmiş olup, bu değer çok düşük olduğundan trendin istatistiksel olarak anlamlı olduğu söylenemez. Bu verilerde belirgin bir değişiklik olmadığı eğilimini göstermektedir. Artış ve azalışın belirgin olmaması, bölgedeki iklim koşullarının, toprak özelliklerinin veya insan faaliyetlerinin bitki örtüsü üzerindeki etkilerinin dengede olduğunu veya birbirini dengelediğini düşündürebilir.



Şekil 50. LAI zaman serisi ve doğrusal trend grafiği (İpsala)

LAI değerlerinin genel trendini göstermektedir. Trend çizgisine ait R^2 değeri 0.001 olarak verilmiştir. Bu sayısının küçük bir sayı olması, LAI değerlerindeki değişimlerin büyük ölçüde rastgele faktörlerden etkilendiğini gösterir. Bu verilerde belirgin bir değişiklik olmadığı eğilimini göstermektedir. Artış ve azalışın belirgin olmaması, bölgedeki iklim koşullarının, toprak özelliklerinin veya insan faaliyetlerinin bitki örtüsü üzerindeki etkilerinin dengede olduğunu veya birbirini dengelediğini düşündürebilir.

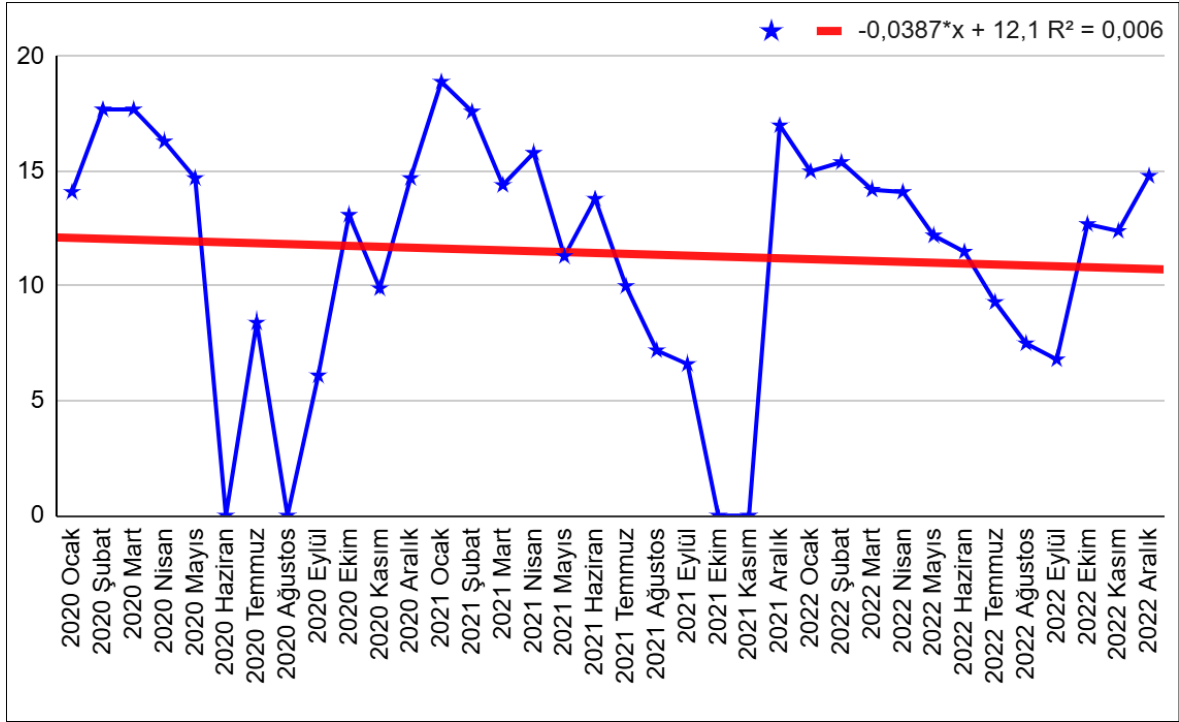


Şekil 51. NDVI zaman serisi ve doğrusal trend grafiği (İpsala)

NDVI değerlerinin genel trendini göstermektedir. Trend çizgisine ait R^2 değeri 0.015 olarak verilmiştir. Bu sayısının küçük bir sayı olması, LAI değerlerindeki değişimlerin büyük ölçüde rastgele faktörlerden etkilendiğini gösterir. Bu verilerde belirgin bir değişiklik olmadığı eğilimini göstermektedir. Artış ve azalışın belirgin olmaması, bölgedeki iklim koşullarının, toprak özelliklerinin veya insan faaliyetlerinin bitki örtüsü üzerindeki etkilerinin dengede olduğunu veya birbirini dengelediğini düşündürebilir.

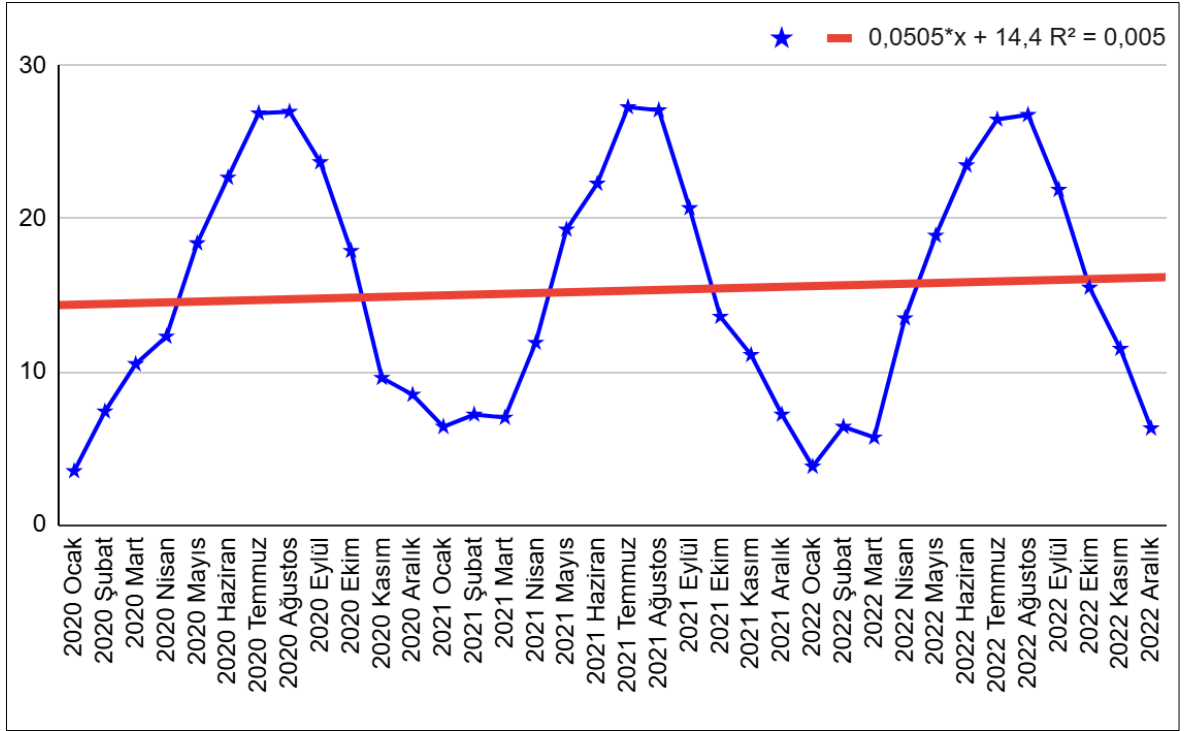
2.8. Meteorolojik Veriler

Meteoroloji 11. Bölge müdürlüğünden, 17050 Numaralı İpsala bölgesine ait Aylık Toplam Yağış, Aylık Ortalama Sıcaklık, Aylık Ortalama Nispi Nem ve 17674 Numaralı Gönen bölgesine ait Aylık Toplam Yağış, Aylık Ortalama Sıcaklık, Aylık Ortalama Nispi Nem verileri temin edilmiştir. Bu verilerden MS Office programları kullanılarak grafikler oluşturulmuştur.



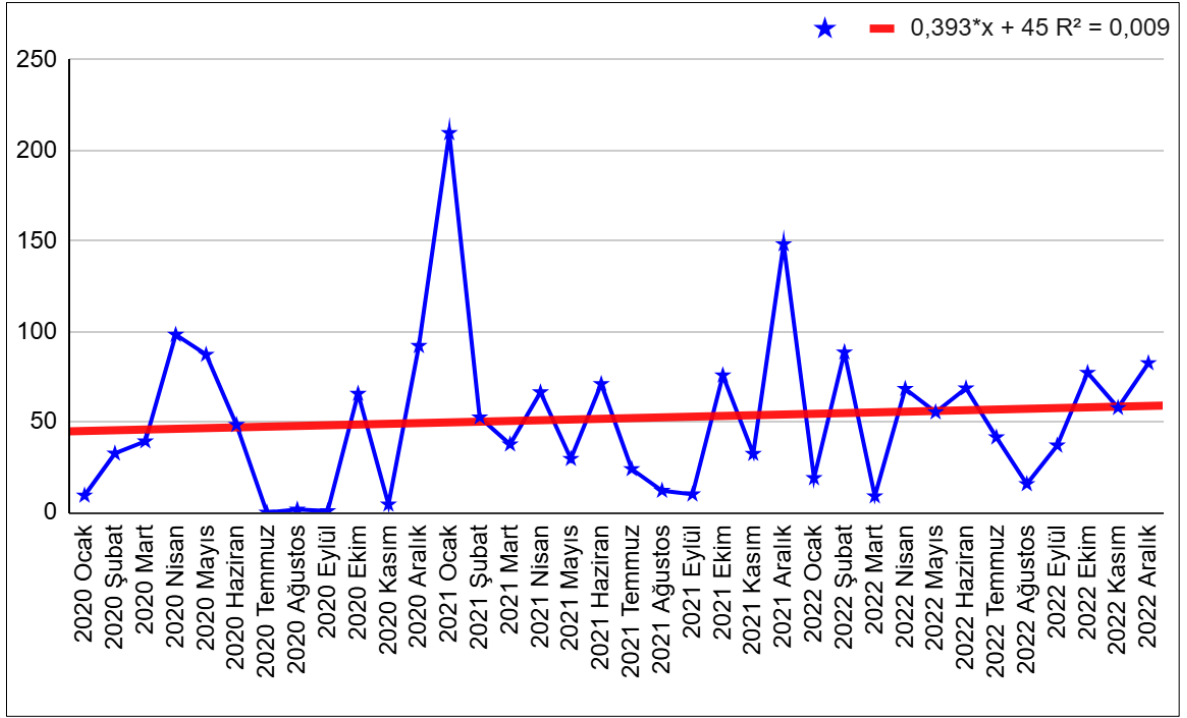
Şekil 52. Aylık Ortalama Nispi Nem (%) (İpsala)

İpsala bölgesine ait Aylık Nispi Nem (%) değerleri değerlendirildiğinde trend grafiğinin aşağı yönde bir eğilim yaptığı görülmektedir. Bu azalış nispi nem oranının yıllara oranla azaldığını göstermektedir ve gelecek yıllarda da azalma eğiliminde olabileceğini göstermektedir. Ayrıca R^2 değerinin düşük olması, veriler arasındaki korelasyonun zayıf olduğunu göstermektedir.



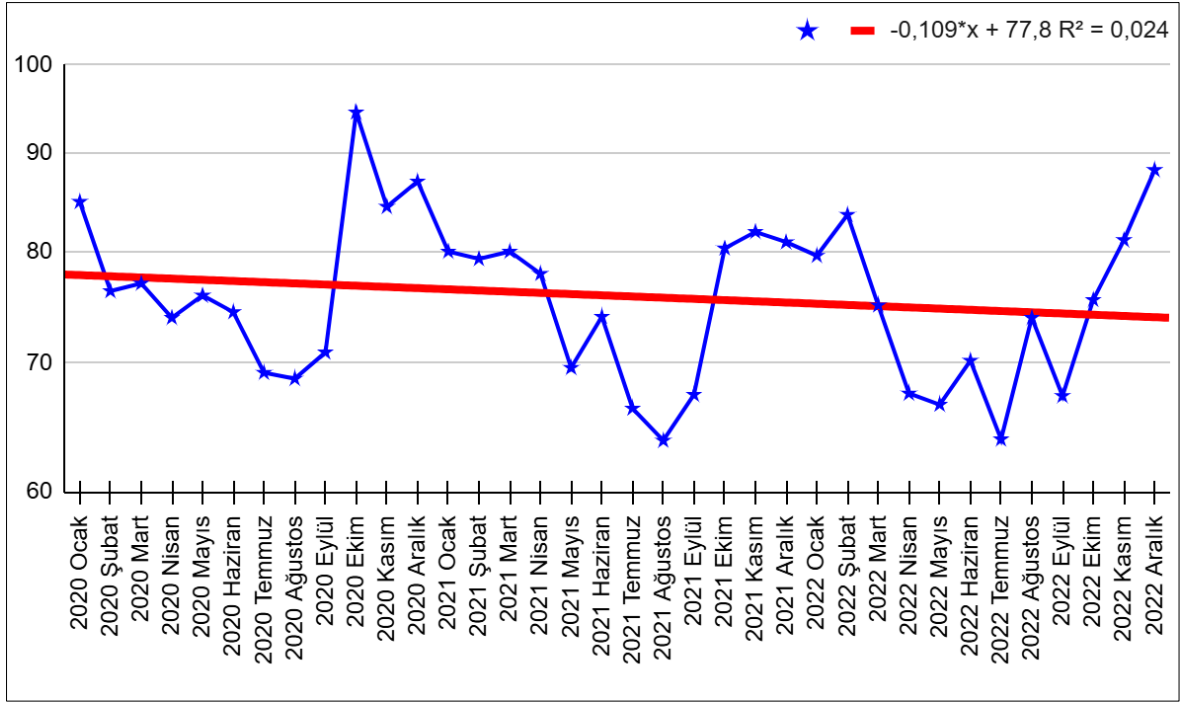
Şekil 53. Aylık ortalama sıcaklık (°C) (İpsala)

İpsala bölgesine ait Aylık Ortalama Sıcaklık (°C) değerleri değerlendirildiğinde trend grafiğinin yukarı yönde bir eğilim yaptığı görülmektedir. Bu artış sıcaklığın yıllara oranla bir artış olduğunu göstermektedir ve trend çizgisini ucunun yukarı yönü göstermesi gelecek yıllarda da artış eğiliminde olabileceğini göstermektedir. Ayrıca R^2 değerinin düşük olması, veriler arasındaki korelasyonun zayıf olduğunu göstermektedir.



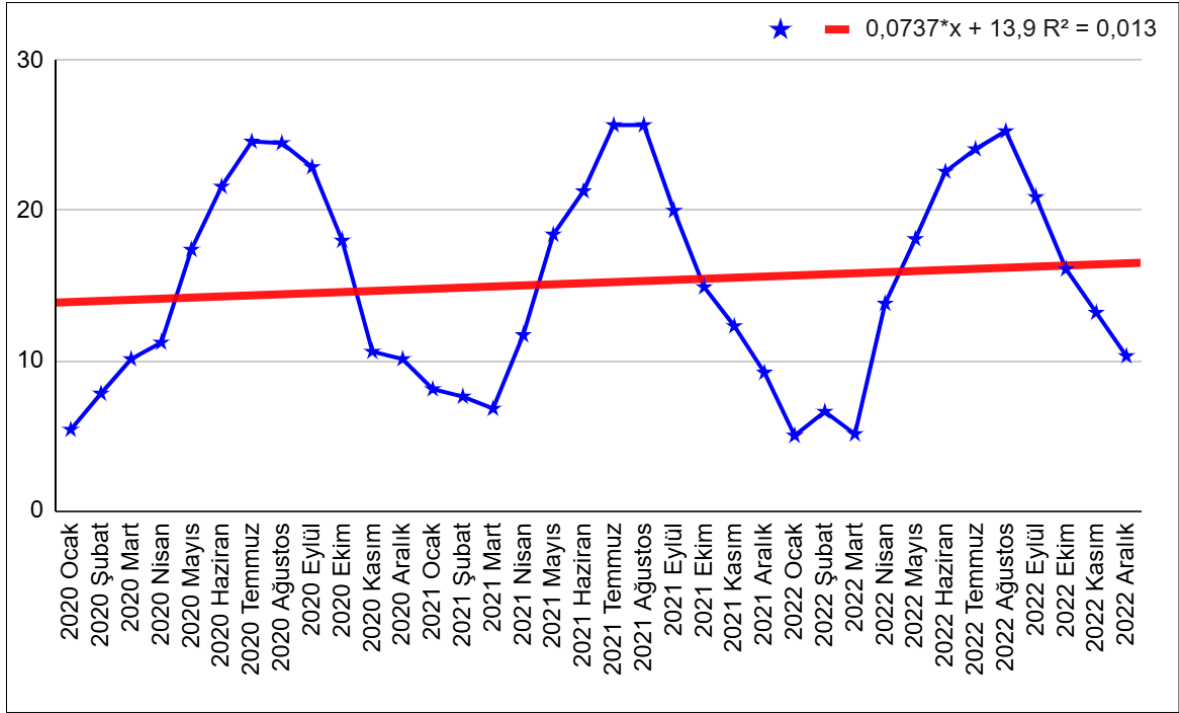
Şekil 54. Aylık toplam yağış (mm=kg÷m²) (İpsala)

İpsala bölgesine ait Aylık Toplam Yağış (mm=kg÷m²) değerleri değerlendirildiğinde trend grafiğinin yukarı yönde bir eğilim yaptığı görülmektedir. Bu artış yağış miktarında yıllara oranla bir artış olduğunu göstermektedir ve trend çizgisini ucunun yukarı yönü göstermesi gelecek yıllarda da artış eğiliminde olabileceğini göstermektedir. Ayrıca R^2 değerinin düşük olması, veriler arasındaki korelasyonun zayıf olduğunu göstermektedir.



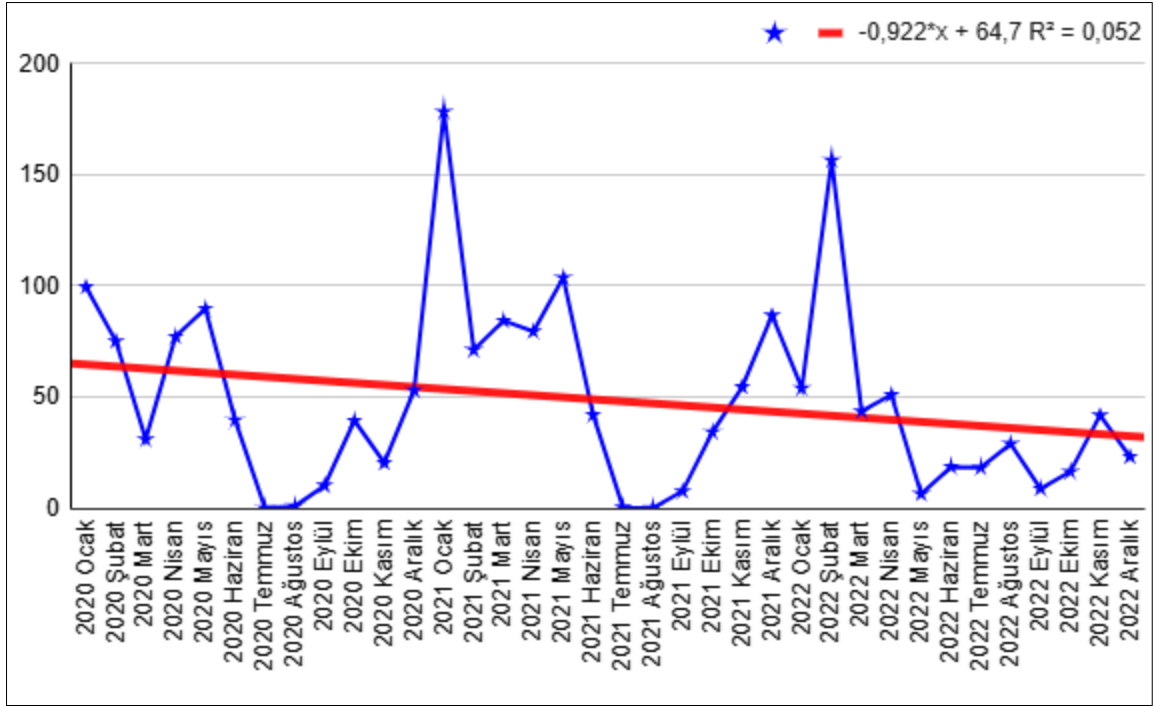
Şekil 55. Aylık ortalama nispi nem (%) (Gönen)

Gönen bölgesine ait Aylık Ortalama Nispi Nem (%) değerleri değerlendirildiğinde trend grafiğinin aşağı yönde bir eğilim yaptığı görülmektedir. Bu azalış nispi nem oranının yıllara oranla bir azalış olduğunu göstermektedir ve trend çizgisini ucunun aşağı yönü göstermesi gelecek yıllarda da azalış eğiliminde olabileceğini göstermektedir. Ayrıca R^2 değerinin düşük olması, veriler arasındaki korelasyonun zayıf olduğunu göstermektedir.



Şekil 56. Aylık ortalama sıcaklık (°C) (Gönen)

Gönen bölgesine ait Aylık Ortalama Sıcaklık (°C) değerleri değerlendirildiğinde trend grafiğinin yukarı yönde bir eğilim yaptığı görülmektedir. Bu artış sıcaklık miktarının yıllara oranla bir artış olduğunu göstermektedir ve trend çizgisini ucunun yukarı yönü göstermesi gelecek yıllarda da artış eğiliminde olabileceğini göstermektedir. Ayrıca R^2 değerinin düşük olması, veriler arasındaki korelasyonun zayıf olduğunu göstermektedir.



Şekil 57. Aylık toplam yağış (mm=kg÷m²) (Gönen)

Gönen bölgesine ait Aylık Toplam Yağış (mm=kg÷m²) değerleri değerlendirildiğinde trend grafiğinin aşağı yönde belirgin bir eğilim yaptığı görülmektedir. Bu azalış yağış miktarlarının yıllara oranla belirli bir azalış içinde olduğunu göstermektedir ve trend çizgisini ucunun aşağı yönü göstermesi gelecek yıllarda da azalış eğiliminde olabileceğini göstermektedir. Ayrıca R^2 değerinin düşük olması, veriler arasındaki korelasyonun zayıf olduğunu göstermektedir.

2.9. Meteorolojik ve Zamansal Veriler Arasındaki İlişki

Edirne, İpsala için, meteorolojik veriler ile bitki indeksleri arasındaki ilişki incelendiğinde, belirgin bir bağ olduğu görülmektedir. Nispi nemin yıllar içinde azalma eğilimi göstermesi, özellikle kuraklık gibi olayların bitki indeksleri üzerinde olumsuz etkiler yarattığını düşündürmektedir.

Örneğin, 2022 yılında EVI değerlerindeki yaz aylarındaki belirgin düşüş, azalan nem oranı ile ilişkilendirilebilir; bitki örtüsü, nem eksikliğine bağlı olarak kuraklık stresine girmiş olabilir. Benzer şekilde, aylık ortalama sıcaklığın artış göstermesi, bitki gelişimini sınırlayan bir diğer faktör olarak öne çıkmaktadır. Özellikle 2022 gibi aşırı sıcaklıkların

yaşandığı yıllarda, sıcaklık artışı bitki indekslerinde düşüşe neden olmuş olabilir. Bunun aksine, yağış miktarındaki artış, bitki indekslerini destekleyici bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle 2021 yılında bahar aylarında yağış miktarındaki artış, EVI ve LAI değerlerinin hızlı bir şekilde artmasıyla örtüşmektedir.

Bu durum, yeterli yağışın bitki gelişimini olumlu etkileyerek indeks değerlerini yükselttiğini göstermektedir. Genel olarak, meteorolojik değişkenler ile bitki indeksleri arasında güçlü bir ilişki olduğu ve bu ilişkinin, bitki örtüsünün iklim değişikliğine karşı ne kadar hassas olduğunu yansıttığı söylenebilir. Özellikle kuraklık ve sıcaklık artışları gibi çevresel değişimler, bitki örtüsünü olumsuz etkilerken, yağış artışı ise indeksleri olumlu yönde desteklemektedir.

Bu bulgular, bölgedeki bitki örtüsünün iklim değişikliğine duyarlılığını ve aşırı hava olaylarından nasıl etkilendiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Meteorolojik veriler ve bitki indeksleri karşılaştırıldığında, Gönen bölgesindeki çevresel değişimlerin bitki örtüsü üzerinde doğrudan etkileri olduğu görülmektedir. Aylık Ortalama Nispi Nem değerlerindeki azalma, özellikle yaz aylarında EVI ve NDVI değerlerindeki düşüşle ilişkilendirilebilir. Bu durum, nem eksikliğinin bitki gelişimi üzerindeki olumsuz etkisini ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, Aylık Ortalama Sıcaklık değerlerindeki artış, sıcaklık stresine yol açarak LAI ve NDVI gibi indekslerin yaz aylarında düşmesine sebep olmuştur. Artan sıcaklık, bitki gelişimini sınırlayan bir faktör olarak öne çıkmaktadır.

Öte yandan, yağış miktarındaki azalma da özellikle 2021 yılında LAI ve NDVI değerlerinde görülen düşüşle uyumludur. 2020 yılında yeterli yağışların olması, LAI ve NDVI değerlerinin bahar aylarında daha yüksek seviyelerde olmasını sağlamıştır. 2022 yılında yağış miktarındaki göreceli artış, bitki indekslerinde toparlanma eğilimine yol açmıştır. Bu durum, bitki örtüsünün çevresel koşullara bağlı olarak değişiklik gösterdiğini ve nem, sıcaklık ile yağışın bitki sağlığı ve büyümesi üzerinde büyük etkisi olduğunu göstermektedir.

Genel olarak, Gönen bölgesinde meteorolojik veriler ve bitki indeksleri arasındaki bu ilişki, bitki örtüsünün iklim değişikliklerine duyarlı olduğunu ve kuraklık, sıcaklık stresi gibi çevresel faktörlerin bitki sağlığını olumsuz etkileyebileceğini ortaya koymaktadır. İklim anormallikleri ve su yönetiminin, bölgedeki tarımsal üretimi ve doğal bitki örtüsünü etkileyen en önemli unsurlar olduğu açıktır.

3. BULGULAR

Bu çalışmada, 2020, 2021 ve 2022 yıllarına ait 72 adet Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılarak EVI, NDVI ve LAI bitki endeksleri hesaplanmış, bu indeksler üzerinden DATimeS yazılımı ile 3 yıllık dönem için zaman serisi analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sürecinde enterpolasyon yöntemi olarak GPR ve yumuşatma yöntemi olarak Savitzky-Golay filtreleme kullanılmıştır. Çalışma alanı olarak Edirne'nin İpsala ve Balıkesir Gönen ilçelerindeki pirinç tarlaları incelenmiş ve pirinç bitkisinin zaman serisi analizi yapılmıştır. Sonuç olarak, pirinç bitkisinin gelişimi ve değişimini gösteren zaman serisi grafikleri, fenoloji modelleri ve fenolojik evrelere dair çıkarımlar elde edilmiştir. Trend analizi grafiklerinde ise, genel olarak trend çizgisinin doğrusal bir artış gösterdiği gözlemlenmiştir.

Tablo 5. DATimeS yazılımından elde edilen pirinç fenoloji takvimi (İpsala)

Yıllara Göre İndeksler	Sezon Başlangıcı (SOS)	Sezon Bitiş (EOS)	Sezon Uzunluk (Gün)	Maximum Değer Günü	Max Değer
2020-NDVI	139(18-05-2020)	303(29-10-2020)	164	224(11-08-2020)	0.660
2020-EVI	134(13-05-2020)	283(09-10-2020)	149	221(08-08-2020)	0.355
2020-LAI	103(12-04-2020)	274(30-09-2020)	171	182(31-07-2020)	0.678
2021-NDVI	131(10-05-2021)	300(27-10-2021)	169	231(19-08-2021)	0.751
2021-EVI	149(28-05-2021)	303(30-10-2021)	154	229(17-08-2021)	0.421
2021-LAI	120(30-04-2021)	283(15-10-2021)	163	177(27-07-2021)	0.345
2022-NDVI	132(11-05-2022)	297(24-10-2022)	165	233(21-08-2022)	0.513
2022-EVI	140(19-05-2022)	292(19-10-2022)	152	219(07-08-2022)	0.612
2022-LAI	121(01-05-2022)	274(01-10-2022)	153	187(06-08-2022)	0.258

Kontrol verisi: Trakya Araştırma Enstitüsü'nden alınan kontrol verilerine göre pirinç ekim ve hasat tarih aralığının Nisan sonu-Mayıs başı ve Eylül sonu-Ekim ortası olduğu görülmüştür (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı).

Yapılan çalışmalarda üretilen fenoloji modeline göre;

1. EVI bitki endeksine göre 2020 yılında sezon 13 Mayıs da başlamış ve 9 Ekim tarihinde sonlamıştır. Hasat dönemi 149 gün sürmüştür. 2021 yılında sezon 28 Mayıs da başlamış ve 30 Ekim de sonlanmıştır. Hasat dönemi 154 gün sürmüştür.

2022 yılında ise sezon 19 Mayıs da başlamış ve 19 Ekim de sonlanmıştır. Hasat dönemi 152 gün sürmüştür.

2. NDVI bitki endeksine göre 2020 yılında sezon 18 Mayıs da başlamış ve 29 Ekim tarihinde sonlanmıştır. Hasat dönemi 164 gün sürmüştür. 2021 yılında sezon 10 Mayıs da başlamış ve 27 Ekim de sonlanmıştır. Hasat dönemi 169 gün sürmüştür. 2022 yılında ise sezon 11 Mayıs da başlamış ve 24 Ekim de sonlanmıştır. Hasat dönemi 165 gün sürmüştür
3. LAI bitki endeksine göre 2020 yılında sezon 12 Nisan da başlamış ve 30 Eylül tarihinde sonlanmıştır. Hasat dönemi 171 gün sürmüştür. 2021 yılında sezon 30 Nisan da başlamış ve 15 Ekim de sonlanmıştır. Hasat dönemi 163 gün sürmüştür. 2022 yılında ise sezon 1 Mayıs da başlamış ve 1 Ekim de sonlanmıştır. Hasat dönemi 153 gün sürmüştür.

Tablo 6. Yıllara göre en iyi sonuç veren indeksler (İpsala)

Yıllara Göre İndeksler	Sezon Başlangıcı (SOS)	Sezon Bitiş (EOS)	Sezon Uzunluğu (Gün)
2020-LAI	103(12-04-2020)	274(30-09-2020)	171
2021-LAI	120(30-04-2021)	283(15-10-2021)	163
2022-LAI	121(01-05-2022)	274(01-10-2022)	153

Trakya Araştırma Enstitüsü’nden alınan kontrol verilerinde pirinç ekim ve hasat tarih aralığının Nisan sonu-Mayıs başı ve Eylül sonu-Ekim ortası olduğu belirlenmiştir. Bu bilgi doğrultusunda sonuçlar değerlendirildiğin de en iyi sonuç veren indeksin üç yıl içinde LAI endeksi olduğu belirlendi.

Tablo 7. DATimeS yazılımından elde edilen pirinç fenoloji takvimi (Gönen)

Yıllara Göre İndeksler	Sezon Başlangıcı (SOS)	Sezon Bitiş (EOS)	Sezon Uzunluk (Gün)	Maximum Değer Günü	Max Değer
2020-NDVI	110(19-04-2020)	294(20-10-2020)	184	193(14-07-2020)	0.560
2020-EVI	106(15-05-2020)	275(01-10-2020)	169	183(01-07-2020)	0.655
2020-LAI	122(01-05-2020)	274(31-09-2020)	152	191(09-07-2020)	0.489
2021-NDVI	107 (16-04-2021)	295 (22-10-2021)	189	191 (10-07-2021)	0.451
2021-EVI	115(25-04-2021)	304(31-10-2021)	189	194(13-07-2021)	0.721
2021-LAI	108(18-04-2021)	281(08-10-2021)	173	205(24-07-2021)	0.561
2022-NDVI	138(18-05-2022)	272(30-09-2022)	134	206(25-07-2022)	0.573
2022-EVI	133(13-05-2022)	289(16-10-2022)	156	185(04-07-2022)	0.612
2022-LAI	125(05-05-2022)	291(31-10-2022)	166	211(30-07-2022)	0.345

Kontrol verisi: Trakya Araştırma Enstitüsü'nden alınan kontrol verilerine göre pirinç ekim ve hasat tarih aralığının Nisan sonu-Mayıs başı ve Eylül sonu-Ekim ortası olduğu görülmüştür (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı).

Yapılan çalışmalarda üretilen fenoloji modeline göre;

1. EVI bitki endeksine göre 2020 yılında sezon 15 Mayıs da başlamış ve 1 Ekim tarihinde sonlamıştır. Hasat dönemi 169 gün sürmüştür. 2021 yılında sezon 25 Nisan da başlamış ve 31 Ekim de sonlanmıştır. Hasat dönemi 189 gün sürmüştür. 2022 yılında ise sezon 13 Mayıs da başlamış ve 16 Ekim de sonlanmıştır. Hasat dönemi 156 gün sürmüştür
2. NDVI bitki endeksine göre 2020 yılında sezon 19 Nisan da başlamış ve 20 Ekim tarihinde sonlamıştır. Hasat dönemi 184 gün sürmüştür. 2021 yılında sezon 16 Nisan da başlamış ve 22 Ekim de sonlanmıştır. Hasat dönemi 189 gün sürmüştür. 2022 yılında ise sezon 18 Mayıs da başlamış ve 30 Eylül de sonlanmıştır. Hasat dönemi 134 gün sürmüştür
3. LAI bitki endeksine göre 2020 yılında sezon 1 Mayıs da başlamış ve 31 Eylül tarihinde sonlamıştır. Hasat dönemi 152 gün sürmüştür. 2021 yılında sezon 18 Nisan da başlamış ve 8 Ekim de sonlanmıştır. Hasat dönemi 173 gün sürmüştür. 2022 yılında ise sezon 5 Mayıs da başlamış ve 31 Ekim de sonlanmıştır. Hasat dönemi 166 gün sürmüştür.

Tablo 8. Yıllara göre en iyi sonuç veren indeksler (Gönen)

Yıllara Göre İndeksler	Sezon Başlangıcı (SOS)	Sezon Bitiş (EOS)	Sezon Uzunluğu (Gün)
2020-NDVI	110(19-04-2020)	294(20-10-2020)	184
2021-NDVI	107 (16-04-2021)	295 (22-10-2021)	189
2022-LAI	125(05-05-2022)	291(31-10-2022)	166

Trakya Araştırma Enstitüsü'nden alınan kontrol verilerinde pirinç ekim ve hasat tarih aralığının Nisan sonu-Mayıs başı ve Eylül sonu-Ekim ortası olduğu belirlenmiştir Bu bilgi doğrultusunda sonuçlar değerlendirildiğin de en iyi sonuç veren indeksin 2020 ve 2021 yılları için NDVI endeksi 2022 yılı için ise LAI endeksi olduğu belirlendi.

DaTimes ile yukarıdaki tablodaki değerlere ulaşıldı. Bu değerlerin doğruluğunu analiz etmek için Trakya Araştırma Enstitüsü'nden alınan ortalama ekim ve hasat tarihleri ile karşılaştırıldı. Alınan bilgilere göre sezon başlama tarihi Nisan sonu-Mayıs başı ve sezon bitiş tarihi ise Eylül sonu- Ekim ortası olarak belirlenmiştir. Pirincin ekim ve

hasat tarihleri bölgeler arası çok ufak farklılıklar gösterir. Genelde ülkemizde bu aylar arasında ekim ve hasat işlemi yapılır.

Sonuçlar değerlendirildiğinde yapılan analizler sonucunda elde edilen fenolojik takvimin alınan kontrol verileriyle uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir.

4. TARTIŞMA

Bu çalışmanın özellikle EVI, NDVI ve LAI gibi bitki endekslerinin zamansal değişimlerini analiz etmek, tarımsal gelişimi tam olarak yansıttığına dair kesinlik sağlamamaktadır. Örneğin, bu endeksler bitkilerin fenolojik evrelerini ve genel sağlığını değerlendirmede yararlı olmakla birlikte, yalnızca bitkinin yüzeyde görünen biyokütlesini ve klorofil yoğunluğunu ölçerler. Ancak bu veriler, bitkinin toprak altı koşulları, besin alımı ve hastalıklara duyarlılığı gibi önemli faktörleri tam olarak temsil etmeyebilir. Dolayısıyla, indekslerin yüksek olması bitkinin sağlıklı olduğunu gösterse de, yüzeyde gözlemlenemeyen potansiyel problemler her zaman tespit edilemeyebilir.

Diğer bir tartışma noktası, analizde kullanılan GPR enterpolasyon ve Savitzky-Golay filtreleme yöntemlerinin zaman serilerindeki doğal varyasyonları pürüzsüzleştirirken bazı ince detayları kaybetme riski taşımasıdır. Özellikle kısa vadeli dalgalanmaların filtrelenmesi, mevsimsel değişimler veya stres faktörlerinin daha az fark edilmesine neden olabilir. Bu durum, fenolojik evrelerdeki hassas geçişlerin tam anlamıyla ifade edilip edilmediği konusunda belirsizliğe yol açmaktadır.

Son olarak, değerlerin daha yüksek olmasının nedenleri sadece iklim koşulları veya tarımsal uygulamalar ile açıklanamayabilir. Yıllık değişimlerin değerlendirilmesi, verilerin kalitesini ve uydu görüntülerinin doğruluğunu etkileyen faktörlerden (atmosferik koşullar, uydu görüntü kalitesi, sensör hataları gibi) etkilenebilir. Böylece, yıllara göre elde edilen indeks değerlerinin doğruluğunu değerlendirirken bu teknik sınırlamaların da dikkate alınması önemlidir.

Bu tartışma noktaları, uzaktan algılama teknikleriyle yapılan tarımsal analizlerin daha ayrıntılı ve güvenilir sonuçlar elde etmesi için ek faktörlerin ve yeni analiz yöntemlerinin kullanılmasını önermektedir. Bu doğrultuda, bitki indeksleri ile birlikte toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin de düzenli olarak izlenmesi, çalışmalara daha kapsamlı bir bakış açısı kazandırabilir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışma da, uydu görüntüleri kullanılarak pirinç bitkisinin zaman içinde değişimi, gelişimi incelenmiş ve pirinç bitkisinin fenolojik evrelerine dair çıkarımlarda bulunulmuştur.

Fenolojik hesaplamalar öncesi farklı enterpolasyon yöntemleri kullanılmış ve bu yöntemlerin performansları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında en iyi sonuç veren enterpolasyon yönteminin Gaussian Process Regression (GPR) yöntemi olduğu görülmüştür. Fenolojik parametrelerin bulunması için çalışılacak yöntem olarak GPR yöntemi tercih edilmiştir.

Pirinç bitkisini incelemek için üç çeşit endeks kullanılmıştır. Bu endeksler NDVI, EVI ve LAI endeksleridir. Bu endeksler ile pirinç bitkisinin fenolojik parametreleri hesaplanmıştır.

Fenolojik takvime göre NDVI, EVI ve LAI endeksleri kalite açısından değerlendirildiğinde, LAI en yüksek kaliteye sahiptir, çünkü SOS ve EOS değerleri her yıl Nisan sonu-Mayıs başı ve Eylül sonu – Ekim ortası sınırları içinde kalmıştır. EVI ve NDVI endekslerinde ise SOS ve EOS değerleri ile bu sınırları çoğunlukla karşılamış, fenolojik döngüyü doğru şekilde temsil etmiştir. Sonuç olarak, LAI birincil endeks olarak kullanılabilirken, EVI ve NDVI destekleyici bir endeks olarak değerlendirilebilir.

Oluşturulan fenolojik takvim Trakya Araştırma Enstitüsü'nden alınan verilerle karşılaştırılmış ve alınan bilgiler doğrultusunda ekim ve hasat tarihlerinin Nisan sonu-Mayıs başı ve Eylül sonu – Ekim ortası sınırları içinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar yapılan çalışmanın kontrol verileri ile uyumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Sonuç olarak, yapılan bu çalışmada uzaktan algılama teknolojisi ve zaman serileri analizi yöntemi bir arada kullanılarak, pirinç bitkisinin fenolojik evrelerinin tespiti yapılmış ve sonuçlar ilgili alanlardan alınan bilgiler ile doğrulanmıştır. Bu çalışma, tarım bitkilerinin fenolojik evrelerin çıkarımlarında, fenoloji takvimlerinin oluşturulmasında doğru sonuçlar elde edilebileceğini göstermiştir.

6. ÖNERİLER

Tarımsal analizlerin daha kapsamlı ve güvenilir olmasını sağlamak için önemli bir katkı sunabilir. İlk olarak, bitki endeksleri yüzeyde gözlemlenen biyokütle ve klorofil yoğunluğunu ölçerken, toprak altı koşullarının, toprak nemi, besin maddeleri, sıcaklık gibi etkenlerin bitki gelişimi üzerinde büyük etkisi olduğu unutulmamalıdır. Bu nedenle, toprak sensörleri veya yer tabanlı ölçüm teknikleriyle toprak özelliklerinin periyodik olarak ölçülmesi, endekslerle birlikte daha bütüncül bir analiz sağlayabilir. Endeks çeşitliliğini artırmak da faydalı olabilir; EVI, NDVI ve LAI gibi yaygın endekslerin yanı sıra bitki stresini, su durumunu veya klorofil içeriğini değerlendiren GNDVI veya SAVI gibi farklı endeksler de denenebilir.

Analiz yöntemlerinde, GPR ve Savitzky-Golay filtreleme yöntemlerine ek olarak, makine öğrenmesi tekniklerinin kullanılması zaman serisi verilerinin öngörüsünü güçlendirebilir ve fenolojik değişimler ile stres faktörlerinin daha hassas bir şekilde belirlenmesine yardımcı olabilir. Aynı şekilde, uydu verilerinin doğruluğunu sağlamak ve endeks sonuçlarını desteklemek için arazi çalışmaları ile uydu verilerinin karşılaştırılması da önemlidir; bu karşılaştırmalar, endekslerin bitki sağlığını ve gelişimini ne kadar doğru yansıttığını görmek açısından faydalı olacaktır. Üç yıllık veriler yerine, daha uzun bir zaman dilimi boyunca veri toplanması da uzun vadeli trend analizlerini güçlendirebilir. Çalışma alanının İpsala ve Gönen dışında farklı toprak ve iklim koşullarına sahip bölgeleri kapsayacak şekilde genişletilmesi, sonuçların genellenebilirliğini artırır ve farklı ekosistemlerde nasıl bir etki yarattığını ortaya koyar. Bu öneriler, çalışmanın derinliğini artırırken, sonuçların güvenilirliğini de yükseltebilir.

7. KAYNAKÇA

- Altun, M., & Türker, M. (2021). Çoklu Zamanlı Sentinel-2 Görüntülerinden Tarımsal Ürün Tespiti: Mardin – Kızıltepe Örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(4), 881-899. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.890436>
- Amani, M., Ghorbanian, A., Ahmadi, S. A., Kakooei, M., Moghimi, A., Mirmazloumi, S. M., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine cloud computing platform for remote sensing big data applications: A comprehensive review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 5326-5350. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021052>
- Arslan, S. (2023). Pirinç durum ve tahmin 2023 (TEPGE Durum ve Tahmin Raporu No. 387). Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü.
- Asner, G. P., Scurlock, J. M. O., & Hicke, J. A. (2003). Global synthesis of leaf area index observations: Implications for ecological and remote sensing studies. *Global Ecology and Biogeography*, 12(3), 191-205. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.2003.00026.x>
- Avcı, Z. D. U., & Sunar, F. (2014). Çeltik tarlalarının haritalanmasında çok zamanlı radar uydu verilerinin kullanımı: Meriç (Ipsala - Enez) havzası örneği. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2014)*, 14-17 Ekim 2014, İstanbul.
- Belda, S., Pipia, L., Morcillo-Pallarés, P., Rivera-Caicedo, J. P., Amin, E., Grave, C., & Verrelst, J. (2020). DATimeS: A machine learning time series GUI toolbox for gap-filling and vegetation phenology trends detection. *Environmental Modelling & Software*, 127, 104666. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104666>
- Boor, C. (1972). On calculating with B-splines. *Journal of Approximation Theory*, 6(1), 50-62. [https://doi.org/10.1016/0021-9045\(72\)90080-9](https://doi.org/10.1016/0021-9045(72)90080-9)
- Boschetti, M., Busetto, L., Manfron, G., Laborte, A., Asilo, S., Pazhanivelan, S., & Nelson, A. (2017). PhenoRice: A method for automatic extraction of spatio-temporal information on rice crops using satellite data time series. *Remote Sensing of Environment*, 194, 347-365. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.029>
- Boschetti, M., Stroppiana, D., Brivio, P. A., & Bocchi, S. (2009). Multi-year monitoring of rice crop phenology through time series analysis of MODIS images. *International Journal of Remote Sensing*, 30(18), 4643-4662. <https://doi.org/10.1080/01431160802632249>
- Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). *Introduction to remote sensing* (5th ed.). Guilford Press.
- Chen, J. M., & Black, T. A. (1992). Defining leaf area index for non-flat leaves. *Plant, Cell & Environment*, 15(4), 421-429. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1992.tb00992.x>

- Dela Torre, D. M. G., Gao, J., Macinnis-Ng, C., & Shi, Y. (2021). Phenology-based delineation of irrigated and rainfed paddy fields with Sentinel-2 imagery in Google Earth Engine. *Geo-spatial Information Science*, 24(4), 695-710. <https://doi.org/10.1080/10095020.2021.1984183>
- Delbart, N., Le Toan, T., Kergoat, L., & Fedotova, V. (2006). Remote sensing of spring phenology in boreal regions: A free of snow-effect method using NOAA-AVHRR and SPOT-VGT data (1982–2004). *Remote Sensing of Environment*, 101(1), 52-62. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.12.012>
- Delgado, M. S., Estévez, J., Berger, K., Pipia, L., Caicedo, J. P. R., Wocher, M., Muñoz, P. R., Tagliabue, G., Boschetti, M., & Verrelst, J. (2022). Gaussian processes retrieval of crop traits in Google Earth Engine based on Sentinel-2 top-of-atmosphere data. *Remote Sensing of Environment*, 268, 112958. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.112958>
- Delgado, S. M., Estévez, J., Pipia, L., Belda, S., Berger, K., Paredes Gómez, V., & Verrelst, J. (2022). Monitoring cropland phenology on Google Earth Engine using Gaussian process regression. *Remote Sensing*, 14(1), 146. <https://doi.org/10.3390/rs14010146>
- Didan, K. (2015). MOD13Q1 MODIS/Terra vegetation indices 16-day L3 global 250m SIN grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13Q1.006>
- Dineshkumar, C., Nitheshnirmal, S., Bhardwaj, A., & Priyadarshini, K. N. (2019). Phenological monitoring of paddy crop using time series MODIS data. *Proceedings of the Department of Civil Engineering, SRM Institute of Science and Technology, Chennai*. <https://doi.org/10.3390/proceedingsxx.xxxxxx>
- European Environment Agency. (2018). CORINE land cover 2018 (CLC2018). Erişim adresi: <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc2018> (Erişim Tarihi: 4 Aralık 2024).
- FAO (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü). (2024). *Rice production manual*. Erişim adresi: <http://www.fao.org> (Erişim Tarihi: 4 Aralık 2024).
- Garonna, I., de Jong, R., & Schaepman, M. E. (2016). Variability and evolution of global land surface phenology over the past three decades (1982–2012). *Global Change Biology*, 22(4), 1456–1468. <https://doi.org/10.1111/gcb.13168>
- Gaurav, P., Gautam, V., Murugan, P., & Annadurai, M. (2014). Performance evaluation of various vegetation detection methods and assessment of temporal vegetation change in Bangalore. *ISPRS TC VIII International Symposium on Operational Remote Sensing Applications: Opportunities, Progress and Challenges*, Hyderabad, India.
- Gómez-Chova, L., Muñoz-Marí, J., Laparra, V., Malo-López, J., & Camps-Valls, G. (2011). A review of kernel methods in remote sensing data analysis. In S. Prasad, L. Bruce, & J. Chanussot (Eds.), *Optical Remote Sensing: Augmented Vision and Reality* (Vol. 3, pp. 171–206). Springer.

- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2016). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Guo, Y., Xia, H., Pan, L., Zhao, X., & Li, R. (2022). Mapping the northern limit of double cropping using a phenology-based algorithm and Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 14(4), 1004. <https://doi.org/10.3390/rs14041004>
- Huang, A., Shen, R., Di, W., & Han, H. (2021). A methodology to reconstruct LAI time series data based on generative adversarial network and improved Savitzky-Golay filter. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 105, 102633. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102633>
- Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., & Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32(1), 1–6. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>
- Huete, A., Justice, C., & Liu, H. (1994). Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. *Remote Sensing of Environment*, 49(3), 224–234.
- International Rice Research Institute (IRRI). (2024). *Rice knowledge bank - Growth stages of rice*. Erişim adresi: <https://www.irri.org> (Erişim Tarihi: 4 Aralık 2024).
- Jensen, J. R. (2009). *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. Pearson Education.
- Karkauskaite, P., Tagesson, T., & Fensholt, R. (2017). Evaluation of the plant phenology index (PPI), NDVI and EVI for start-of-season trend analysis of the northern hemisphere boreal zone. *Sensors*, 17(5), 1123. <https://doi.org/10.3390/s17051123>
- Kaya, Y. (2020). *Çok bantlı uydu görüntüleri kullanılarak buğday bitkisinin incelenmesi – Ceylanpınar TİGEM örneği* (Yüksek lisans tezi). Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kim, H. O., & Yeom, J. M. (2012). Multi-temporal spectral analysis of rice fields in South Korea using MODIS and RapidEye satellite imagery. *Journal of Astronomy and Space Sciences*, 29(4), 407–415. <https://doi.org/10.5140/JASS.2012.29.4.407>
- Lestari, E. A. P., Supriatna, & Damayanti, A. (2020). Model of paddy rice phenology using Sentinel 2-A imagery with NDVI algorithm in Subang Regency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 481(1), 012069. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/481/1/012069>
- Lobell, D. B., Lesch, S. M., Corwin, D. L., Ulmer, M. G., Anderson, K. A., Potts, D. J., ... & Baltes, M. J. (2010). Regional-scale assessment of soil salinity in the Red River Valley using multiyear MODIS EVI and NDVI. *Journal of Environmental Quality*, 39(1), 35–46. <https://doi.org/10.2134/jeq2009.0140>
- MODIS Land Team. (2015). *MOD13Q1 and MYD13Q1 Products User's Guide*. Retrieved from <https://modis.gsfc.nasa.gov>

- Myneni, R. B., Hoffman, S., Knyazikhin, Y., Privette, J. L., Glassy, J., Tian, Y., ...Running, S. W. (2002). Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from year one of MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), 214-231. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00074-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00074-3)
- Narin, O. G., & Abdikan, S. (2020). Monitoring of phenological stage and yield estimation of sunflower plant using Sentinel-2 satellite images. *Geocarto International*. <https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1765886>
- Nguyen, D., Wagner, W., Naeimi, V., & Cao, S. (2015). Rice-planted area extraction by time series analysis of Envisat ASAR WS data using a phenology-based classification approach: A case study for Red River Delta, Vietnam. *Department of Geodesy and Geoinformation, Vienna University of Technology*.
- Orusa, T., Viani, A., Cammareri, D., & Borgogno Mondino, E. (2022). A Google Earth Engine algorithm to map phenological metrics in mountain areas worldwide with Landsat Collection and Sentinel-2. *Remote Sensing*, 14(1), 12. <https://doi.org/10.3390/rs14041004>
- Park, T., Ganguly, S., Tømmervik, H., Euskirchen, E. S., Høgda, K. A., Karlsen, S. R., & Myneni, R. B. (2016). Changes in growing season duration and productivity of northern vegetation inferred from long-term remote sensing data. *Environmental Research Letters*, 11(8), 084001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/8/084001>
- Polat, A. B., Balık Şanlı, F., & Akçay, Ö., (2022). *Sentinel-1 SAR Görüntüleri ile Pirinç Tarımının Ekim ve Hasat Zamanı Arasında İncelenmesi* . 11. TÜRKİYE ULUSAL FOTOGRAMETRİ VE UZAKTAN ALGILAMA BİRLİĞİ TEKNİK SEMPOZYUMU (pp.1). Mersin, Turkey
- Rasmussen, C. E., & Williams, C. K. I. (2006). *Gaussian Processes for Machine Learning*. The MIT Press. ISBN: 026218253X
- Rouse, W. R., Haas, R. H., Well, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Remote Sensing Center, Texas A&M University, College Station, Texas*.
- Sakamoto, T., Gitelson, A. A., Wardlow, B. D., Verma, S. B., & Arkebauer, T. J. (2011). Analyzing the impacts of climate variations and agricultural practices on corn yield in the US Midwest. *Remote Sensing of Environment*, 115(2), 550-563. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.10.004>
- Suykens, J., & Vandewalle, J. (1999). Least squares support vector machine classifiers. *Neural Processing Letters*, 9(3), 293-300.
- Şimşek, O., Nadaroğlu, Y., Yücel, G., Dokuyucu, Ö., & Gökdağ, Ş. A. (2014). *Türkiye Fenoloji Atlası*. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Zirai Meteoroloji Şube Müdürlüğü.
- Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü. (2024). TTAEE. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/ttae>

- Taşlıgil, N., & Şahin, G. (2011). Türkiye’de çeltik (*Oryza sativa* L.) yetiştiriciliği ve coğrafi dağılımı. *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 4(6), 182–203. <https://doi.org/10.14520/adyusbd105>
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127–150.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2023). Türkiye’deki pirinç ekim alanları ve üretim miktarı 2023. <https://www.tuik.gov.tr>
- URL-1. (2021) <https://artmootoolbox.com/plugins-standalone/91-plugins-standalone/34-datimes.html> adresinden alınmıştır.
- URL-2. (2022) <https://www.aa.com.tr/tr/sehirlerin-lezzet-rekabeti/sofralarin-incisi-pirincte-balikesir-ve-edirnenin-lezzet-yarisi/2711458>
- Verrelst, J., Alonso, L., Camps-Valls, G., Delegido, J., & Moreno, J. (2011). Retrieval of vegetation biophysical parameters using Gaussian process techniques. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 50(5), 1832–1843.
- Verrelst, J., Rivera, J. P., Moreno, J., & Camps-Valls, G. (2013). Gaussian processes uncertainty estimates in experimental Sentinel-2 LAI and leaf chlorophyll content retrieval. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 86, 157–167.
- Yang, K., Gong, Y., Fang, S., Duan, B., Yuan, N., Peng, Y., Wu, X., & Zhu, R. (2021). Combining spectral and texture features of UAV images for the remote estimation of rice LAI throughout the entire growing season. *Remote Sensing*, 13(15), 3001. <https://doi.org/10.3390/rs13153001>
- Zeng, L., Wardlow, B. D., Xiang, D., Hu, S., & Li, D. (2019). A review of vegetation phenological metrics extraction using time-series, multispectral satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 237, 111511. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111511>
- Zhang, X., Friedl, M. A., Schaaf, C. B., Strahler, A. H., & Schneider, A. (2004). The footprint of urban climates on vegetation phenology. *Geophysical Research Letters*, 31(12), L12209. <https://doi.org/10.1029/2004GL020137>

ÖZGEÇMİŞ

Aleyna ŞİMŞEK, ilköğrenimini Mareşal Fevzi Çakmak İlköğretim Okulu'nda bitirdikten sonra lise eğitimini 2014 yılında Affan Kitapçıoğlu Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2017-2018 öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2021 yılında bu bölümden mezun oldu. 2022 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği bölümünde yüksek lisansa başladı. Orta derece de ingilizce bilmektedir.