



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



**TOGO ÖRNEĞİNDE DEĞİŞEN İKLİM
KOŞULLARINA UYUMLU ÇELTİK TARIMINA
UYGUN ARAZİLERİN CBS VE UZAKTAN
ALGILAMA TEKNİKLERİ KULLANILARAK
BELİRLENMESİ**

Doktora Tezi

Kpanté KOUTANDO

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

İzmir
2022

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**TOGO ÖRNEĞİNDE DEĞİŞEN İKLİM
KOŞULLARINA UYUMLU ÇELTİK TARIMINA
UYGUN ARAZİLERİN CBS VE UZAKTAN
ALGILAMA TEKNİKLERİ KULLANILARAK
BELİRLENMESİ**

Kpanté KOUTANDO

Danışman: Doç. Dr. Mustafa Tolga ESETLİLİ

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı
Toprak Bilimi Doktora Programı

İzmir
2022

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum **“Togo örneğinde değişen iklim koşullarına uyumlu çeltik tarımına uygun arazilerin CBS ve uzaktan algılama teknikleri kullanılarak belirlenmesi”** başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

30 / 12 / 2022

Kpanté KOUTANDO

ÖZET**TOGO ÖRNEĞİNDE DEĞİŞEN İKLİM KOŞULLARINA UYUMLU
ÇELTİK TARIMINA UYGUN ARAZİLERİN CBS VE UZAKTAN
ALGILAMA TEKNİKLERİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ**

KOUTANDO, Kpanté

Doktora Tezi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mustafa Tolga ESETLİLİ

Aralık 2022, 157 Sayfa

Arazinin çeltik ekimi için uygunluğunun değerlendirilmesi, sürdürülebilir çeltik üretiminin teşvik edilmesi sürecinin ilk adımıdır. Çeltik, dünya nüfusunun büyük bir kısmı için temel bir mahsul olup aynı zamanda çevresel sorunların ve sera gazı emisyonlarının da önemli bir kaynağıdır. Bu nedenle, sürdürülebilir çeltik yetiştiriciliği bir gereklilik olmaya devam etmektedir. Bu çalışmada, mekânsal analize dayalı sürdürülebilir çeltik yetiştiriciliğinin uygulanmasına yönelik pratik bir yaklaşım önerilmektedir. Bu yaklaşım üç adımda özetlenebilir. İlk adım çeltik tarlalarının haritasını çıkarmaktır. İkinci adım, arazinin çeltik ekimi için mevcut ve gelecekteki uygunluğunu belirlemektir. Son olarak, çeltik alanlarının arazi uygunluk sınıflarındaki mekânsal dağılımını anlamak için sonuçların karşılaştırmalı bir analizini gerçekleştirmektir. Bu nedenle, çeltik tarlalarının haritalanması için, Google Earth Engine'de (GEE) Rastgele Orman (RF) algoritması kullanılarak esasen Sentinel-1 (S1) verilerine dayanan dört çeltik tarlası haritalama modeli veya yaklaşımı önerilmiştir. İlk model yalnızca S1 VH polarizasyon verileri üzerine kurulmuştur. İkinci ve üçüncü model sırasıyla S1 VH ile SAR-VM ve EV'yi birleştirmiştir. Dördüncü model S1 VH'yi hem SAR-VM hem de EV ile birleştirmiştir. Sonuçlara göre S1 VH, VM ve EV'nin (model 3 ve 4) kombinasyonu, karmaşık bir çeltik ekim ortamında çeltik tarlalarını büyük ölçekte haritalamak için umut verici yaklaşımlar oluşturmuştur. Çeltik ekimi için mevcut ve gelecekteki arazi uygunluğunun değerlendirilmesi için, iki modern arazi uygunluk değerlendirme yöntemine (Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci-FAHP ve MaxEnt) dayanan karşılaştırmalı bir yaklaşım kullanılmıştır. İki metodoloji çok farklı sonuçlar vermiştir. MaxEnt tabanlı yöntem için S3 arazi uygunluk sınıfı daha fazla temsil edilirken, FAHP tabanlı yöntem için S2 arazi uygunluk sınıfı daha fazla temsil edilmektedir. Bu sonuçlara dayanarak, iki yöntemin farklı amaçlara sahip

olduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle, FAHP yöntemine dayalı arazi uygunluk analizi, arazinin belirli bir mahsulün verimliliğine uygunluğunu değerlendirmek için bir yöntem olarak düşünülebilmektedir. MaxEnt yöntemine dayalı arazi uygunluk analizi değerlendirme yöntemi, arazi tarımsal-iklimsel uygunluk değerlendirme yöntemi olarak kabul edilebilmektedir. Bu nedenle bu yöntemlerin tamamlayıcı bir şekilde kullanılması uygun olacaktır. Çalışma alanında, iklim değerikliğinin arazi uygunluğu üzerindeki etkisi bir ilçeden diğerine değerismektedir. Plateaux ilçelerinde eltik ekimi için arazi uygunluğu iklim değerikliği altında iyileşecektir. Ancak, Maritime bölgesinde, iklim değerikliği Zio bölgesi dışında toprak uygunluğunu olumsuz etkileyecektir. Çalışma alanında eltik alanlarının %70'inden fazlasının S3 arazi uygunluk sınıfında yer almasından dolayı, bu çalışma ile eltik ekimi için uygun alan seçiminin düşük eltik verimliliğinin birincil nedeni olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar sözcükler: Çeltik; Sentinel-1; GEE, Arazi Uygunluk Analizi, İklım Değerikliği, MaxEnt, FAHP, Togo

ABSTRACT**DETERMINATION OF LAND SUITABILITY FOR PADDY RICE CULTIVATION COMPATIBLE WITH CHANGING CLIMATIC CONDITIONS IN TOGO USING GIS AND REMOTE SENSING TECHNIQUES**

KOUTANDO, Kpanté

PhD's Thesis in Department of Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa Tolga ESETLİLİ

December 2022, 157 pages

Assessing the suitability of land for paddy cultivation is the first step in the process of promoting sustainable rice production. Paddy rice is a staple crop for a large part of the world's population, but it is also a major source of environmental problems and greenhouse gas emissions. Thus, sustainable paddy rice cultivation remains a necessity. In this study, a practical approach to implementing sustainable rice cultivation based on spatial analysis is proposed. This approach can be summarized in three steps. The first step is to map the paddy fields. Second, determine the present and future suitability of the land for paddy cultivation. Finally, a comparative analysis of the results to understand the spatial distribution of paddy rice fields in the land suitability classes is carried out. Thus, for the mapping of paddy rice fields, four paddy rice field mapping models or approaches based essentially on Sentinel-1 (S1) data using the Random Forest (RF) algorithm in Google Earth Engine (GEE) were proposed. The first model is based on S1 VH polarisation data only. The second and third models combined S1 VH with SAR-VM and EV, respectively. The fourth model combined S1 VH with both SAR-VM and EV. Thus, the combination of S1 VH, VM, and EV (models 3 and 4) would constitute promising approaches to map paddy rice fields on a large scale in a complex paddy rice cropping environment. For the assessment of present and future land suitability for paddy cultivation, a comparative approach based on two modern land suitability assessment methods (Fuzzy Analytic Hierarchy Process-FAHP and MaxEnt) was used. The two methodologies gave very different results. For the MaxEnt-based method, the S3 land suitability class is more represented, whereas for the FAHP-based method, the S2 land suitability class is more represented. Based on these results, we believe that the two methods have different objectives. Thus,

land suitability analysis based on the FAHP method can be considered as a method for assessing the suitability of land for the productivity of a particular crop. The evaluation method of land suitability analysis based on the MaxEnt method can be considered as a method of land agro-climatic suitability evaluation. Therefore, we recommend the complementary use of these methods. In the study area, the impact of climate change on land suitability varies from one district to another. Land suitability for paddy cultivation in the Plateaux districts will be improved under climate change. However, in the Maritime region, climate change will negatively affect soil suitability except in the Zio district. Since more than 70% of the paddy rice fields in the study area are in class 3 of land suitability, this study concludes that the selection of suitable sites for paddy cultivation is the primary reason for low paddy productivity.

Keywords: Paddy rice; Sentinel 1; Remote Sensing; GEE, Land Suitability Analysis, Climate Change, MaxEnt, FAHP, Togo

ÖNSÖZ

Profesyonel kariyerimin başında, Togo'daki çeltik çiftçilerinin karşılaştığı zorluklarla karşı karşıya kaldım. Gerçekten de yeni bir çeltik yetiştirme tekniğinin yaygınlaştırılmasından sorumlu bir ziraat mühendisiydim. Bu tekniğin adı: Yoğun Pirinç Yetiştirme Sistemi (Système de Riziculture Intensive-SRI). En büyük çeltik ekim alanı olan Zio Vadisi'nde çiftçilerin elde ettiği verimin çok düşük olduğunu anladım. Ben de bir çözümün unsurlarını getirmeye karar verdim. Bu durum, Yüksek Lisans araştırmam sırasında çeltik gübrelemesi için verimli yaklaşımlar önermemi sağladı. Bu araştırma çalışmasından sonra, çeltik ekimine uygun alanları belirlemek için geniş ölçekli çalışmalar yapmanın önemli olduğunu fark ettim. 2018 yılında, EGE Üniversitesi Toprak Bilimi Bölümü'nde Doktora bursu kazanacak kadar şanslıydım. Hedefim doğrultusunda, Toprak Bilimi Bölümü'nün CBS ve Uygulamalı Uzaktan Algılama araştırma grubunda çalışmayı seçtim. CBS ve Uygulamalı Uzaktan Algılama Laboratuvarı, Prof. Dr. Yusuf KURUCU tarafından yönetilmektedir. Araştırma fikrimi Prof. Dr. Yusuf KURUCU ve Doç. Dr. Mustafa Tolga ESETLİLİ ile tartıştım. Alanında uzman kişiler olarak, hedeflerime ulaşmak için izlemem gereken bir yol önerdiler. Bu durum, ilginç sonuçlar veren ve tarımsal planlamada bir karar destek aracı olarak kullanılabilecek bu araştırma konusunun ortaya çıkmasına neden olmuştur.

İZMİR

30/12/2022

Kpanté KOUTANDO

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
İÇ KAPAK	ii
KABUL ONAY SAYFASI	iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ	xi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvii
TABLolar DİZİNİ.....	xxii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxiv
1. GİRİŞ.....	1
2. UZAKTAN ALGILAMA VE ARAZİ UYGUNLUĞU TEKNİKLERİNE GENEL BAKIŞ	8
2.1. Uzaktan Algılama Tekniği ve Temel Prensipleri	8
2.1.1. Tanım ve ilkeler	8
2.1.2. Uzaktan algılama yöntemleri	9
2.1.3. Önemli SAR parametreleri	11
2.1.4. Tarımda uzaktan algılama tekniklerinin kullanımı	13

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.1.5. Aktif uzaktan algılama teknikleri ile çeltik haritalama	18
2.2. Tarım Arazileri Uygunluk Analizi.....	19
2.2.1. Genel bakış.....	19
2.2.2. ALSA'nın uygulanması	21
2.2.3. Tarımda arazi uygunluk analizleri	21
2.2.4. ALSA'da kullanılan kriterlere örnek	26
3. LİTERATÜR TARAMASI	27
3.1. Çeltik Tarlalarının Haritalanması ve İzlenmesinde Uzaktan Algılamanın Kullanımı	27
3.1.1. Veri kaynaklarına göre çeltik haritalama metodolojisi	27
3.1.2. Çeltik haritalama algoritmalarının evrimi	35
3.2. Tarımsal Arazi Uygunluk Değerlendirmesi İçin En Son Teknoloji	37
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	40
4.1. Materyal.....	40
4.1.1. Çalışma alanı ve iklim özellikleri	40
4.1.2. Çalışma bölgelerinde çeltik üretimi durumu.....	41
4.2. Yöntem	42

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.2.1. Çeltik haritalama yöntemi.....	42
4.2.2. Çeltik ekimi arazi uygunluk değerlendirmesi için yöntem.....	51
4.2.3. Arazi uygunluk haritalarının karşılaştırılması için metodoloji.....	74
4.2.4. İklim değişikliğinin çeltik arazi uygunluğu üzerindeki etkisinin belirlenmesi için metodoloji.....	75
5. BULGULAR	76
5.1. S1, EV ve SAR-VM Verileri Kullanılarak Çeltik Tarlası Haritalama Sonuçları.....	76
5.1.1. Sınıflandırma doğruluğu.....	76
5.1.2. Değişken önem sonuçları.....	76
5.1.3. Tarımsal istatistik verileri ile karşılaştırma	78
5.1.4. Haritaların mekânsal dağılımı ve görsel değerlendirmesi	80
5.1.5. Tahminler ve ESA CCI arazi örtüsü verileri arasında karşılaştırma	85
5.2. Çeltik Ekimi İçin Arazi Uygunluk Değerlendirmesinin Sonuçları	86
5.2.1 FAHP sonuçları	86
5.2.2. MaxEnt sonuçları.....	90
5.2.3.İki metodolojinin çeltik ekimi için toprak uygunluğunun mekânsal dağılımının sonuçlarının karşılaştırılması.....	99

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

5.2.4. İklim değişikliğinin çeltik ekimi için arazi uygunluğu üzerindeki etkileri	101
5.2.5.Çalışma alanında çeltik ekimi için çeltik tarlaları alanlarının ve arazi uygunluk sınıflarının mekânsal dağılımının karşılaştırmalı analizi	112
6. TARTIŞMA.....	115
6.1. Çeltik Ekim Alanlarının Haritalanması Sonuçlarının Tartışılması.....	115
6.1.1.SAR verilerini, SAR'dan türetilen bitki örtüsü metriklerini ve çevre verilerini birleştirmenin önemi.....	115
6.1.2. Haritalama sonuçlarının güvenilirliği	118
6.2. Mevcut ve Gelecekteki İklim Değişikliği Koşulları Altında Çeltik Ekimi için Arazi Uygunluğu Değerlendirme Sonuçlarının Tartışılması	120
6.2.1. Arazinin uygunluğunun değerlendirilmesinde kriterlerin önemi.....	120
6.2.2. Arazi uygunluk değerlendirmesi için MaxEnt ve FAHP yöntemleri arasındaki farklar.....	121
6.2.3. Çeltik ekimi için gelecekteki arazi uygunluğunun mekânsal dağılımı	123
6.2.4. Çeltik yetiştiriciliğinin analizi ve iklim değişkenliğine uyum yaklaşımı ..	126
7. SONUÇ.....	130
KAYNAKLAR DİZİNİ	133
TEŞEKKÜR.....	156
ÖZGEÇMİŞ	157

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
2.1: Elektromanyetik spektrum.....	9
2.2: Uzaktan algılamada sensör tipleri ve mekanizmaları	10
2.3: SAR ölçümlerinin hassasiyeti ve farklı dalga boylarında kanopi içine nüfuz etmesi.....	12
2.4: Radar tarafından yayılan sinyal ile bitki örtüsü ve toprak tarafından geri saçılan sinyal arasındaki etkileşim mekanizmaları.....	17
2.5: Radar geri saçılımı ile çeltiğin büyüme aşamaları arasındaki ilişki	18
2.6: Tarımda arazi uygunluk analizleri.....	22
2.7: Bulanık mantık ve boolean yaklaşımları arasındaki fark	25
4.1: Çalışma alanı ve İklimsel özellikleri	40
4.2: Çalışma alanında çeltik yetiştiriciliği yapılan tarlalara ait görsel.....	41
4.3: Arazi çalışmaları sırasında veri toplama amacıyla çiftçilerle görüşmeler yapılmıştır.....	42
4.4: Çalışma alanındaki üç çeltik tipi için ekim takvimin	42
4.5: Çeltik tarlaları haritalama iş akışı.....	48
4.6: FAO çerçevesini ve çeltik gereksinimini kullanan kriterler (KDK, pH, Karbon) için uygunluk haritaları	53
4.7: FAO çerçevesini ve çeltik gereksinimini kullanan kriterler (Doku, Eğim, DPW) için uygunluk haritaları.....	54

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil	Sayfa
4.8: FAO çerçevesini ve çeltik gereksinimini kullanan kriterler (Yağış, sıcaklık, DTR) için uygunluk haritaları.....	54
4.9: FAO Nüfus yoğunluğu için uygunluk haritaları	55
4.10: Üçgen bulanık sayının üyelik fonksiyonu.....	56
4.11: İki kriteri karşılaştırmak için dilsel değişkenlerin üyelik fonksiyonu	58
4.12: FAHP yaklaşımını kullanarak arazi uygunluk haritalaması için iş akışı	61
4.13: Maritime bölgesi için seçilen değişkenlerin korelasyonu	65
4.14: Plateaux bölgesi için seçilen değişkenlerin korelasyonu	67
4.15: Maritime bölgesinde MaxEnt yaklaşımı ile arazi uygunluk modellemesi için kullanılan bazı değişkenlerin haritaları	69
4.16: Maritime bölgesinde MaxEnt yaklaşımı ile arazi uygunluk modellemesi için kullanılan değişkenlerin haritaları (devam)	70
4.17: Plateaux bölgesinde MaxEnt yaklaşımı ile arazi uygunluk modellemesi için kullanılan bazı değişkenlerin haritaları	71
4.18: Plateaux bölgesinde MaxEnt yaklaşımı ile arazi uygunluk modellemesi için kullanılan bazı değişkenlerin haritaları (devam).....	72
4.19: MaxEnt yaklaşımı için iş akışı.....	73
5.1: Sınıflandırma doğruluğu sonuçları	76
5.2: Çeltik sınıflandırmasında en etkili on değişken ve ilgili önem puanı.....	77

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil	Sayfa
5.3: Çalışma alanı düzeyinde haritalanan ve raporlanan verilerin karşılaştırılması.....	78
5.4: İlçe düzeyinde haritalanan ve raporlanan verilerin karşılaştırılması	80
5.5: Uygulanan dört model için haritalama sonuçları	81
5.6: Maritime bölgesi sonuçlarının görsel değerlendirmesi. sonucu üzerinde yakınlştırılmış alan.....	83
5.7: Plateaux bölgesi sonuçlarının görsel değerlendirmesi.....	84
5.8: Tahminler ve CCI Arazi Örtüsü verileri arasındaki karşılaştırma.....	86
5.9: FAHP yöntemine göre kriterler ve faktörlerin önemi	87
5.10: Maritime bölgesinde İlçeler düzeyinde FAHP yöntemi için arazi uygunluk sınıflarının mekânsal dağılımı	89
5.11: Plateaux bölgesinde İlçeler düzeyinde arazi uygunluk sınıflarının mekânsal dağılımı.....	90
5.12: Maritime bölgesi için MaxEnt modelinin ROC sonucu	91
5.13: Plateaux bölgesi için MaxEnt modelinin ROC sonucu	91
5.14: Maritime bölgesi için MaxEnt değişken öneminin sonucu	93
5.15: Maritime bölgesi için Jackknife testinin sonucu	94
5.16: Plateaux bölgesi için MaxEnt değişken öneminin sonucu	95

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil	Sayfa
5.17: Plateaux bölgesi için Jackknife testinin sonucu.....	96
5.18: Maritime bölgesinde İlçeler düzeyinde MaxEnt yöntemi için arazi uygunluk sınıflarının mekânsal dağılımı.....	98
5.19: Plateaux bölgesinde İlçeler düzeyinde MaxEnt yöntemi için arazi uygunluk sınıflarının mekânsal dağılımı.....	99
5.20: FAHP ve MaxEnt metodolojilerin çeltik ekimi için arazi uygunluk sınıfı haritalama sonuçları arasındaki karşılaştırma	100
5.21: Çeltik ekimi için arazi uygunluk haritaları	101
5.22: İklim değişikliğinin çalışma alanındaki arazi uygunluğu üzerindeki etkisinin genel haritası	102
5.23: İklim değişikliğinin Plateaux bölgesinde çeltik ekimi için arazi uygunluk sınıfları üzerindeki etkisi: Sınıf S1.....	104
5.24: İklim değişikliğinin Plateaux bölgesinde çeltik ekimi için arazi uygunluk sınıfları üzerindeki etkisi: Sınıf S2.....	105
5.25: İklim değişikliğinin Plateaux bölgesinde çeltik ekimi için arazi uygunluk sınıfları üzerindeki etkisi: Sınıf S3.....	106
5.26: Plateaux bölgesinde farklı senaryolar ve dönem altında iklim değişkenlerinin değişkenliği	107
5.27: İklim değişikliğinin Maritime bölgesinde çeltik ekimi için arazi uygunluk sınıfları üzerindeki etkisi: Sınıf S1.....	108

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil	Sayfa
5.28: İklim değişikliğinin Maritime bölgesinde çeltik ekimi için arazi uygunluk sınıfları üzerindeki etkisi: Sınıf S2	110
5.29: İklim değişikliğinin Maritime bölgesinde çeltik ekimi için arazi uygunluk sınıfları üzerindeki etkisi: Sınıf S3	111
5.30: Zio ilçesinde farklı senaryolar ve dönem altında iklim değişkenlerinin değişkenliği.....	112
5.31: Bas-Mono ilçesinde farklı senaryolar ve dönem altında iklim değişkenlerinin değişkenliği.....	112
5.32: Çeltik tarlalarının arazi uygunluk sınıflarına göre mekânsal dağılımı	113
5.33: Arazi uygunluk sınıflarına göre pirinç tarlalarının mekânsal dağılım haritası	114
6.1: S1-VH ve SAR-VM'nin zamansal profilleri (çeltik tip 1)	127
6.2: S1-VH ve SAR-VM'nin zamansal profilleri (çeltik tip 2)	128
6.3: S1-VH ve SAR-VM'nin zamansal profilleri (çeltik tip 3)	129

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Aktif ve pasif uzaktan algılamanın karşılaştırılması.....	11
2.2: Aktif uzaktan algılamada kullanılan bantların özellikleri.....	12
2.3: ALSA'da kullanılan bazı kriterleri sunmaktadır	26
3.1: Çeltik haritalamada kullanılan algoritmalar.....	36
4.1: S1 SAR verilerinden hesaplanan polarize indeksler ve varyans.....	44
4.2: Çevresel veri kümelerinin özeti	45
4.3: Giriş veri alt kümelerine dayalı sınıflandırma modelleri	46
4.4: FAHP yaklaşımında kullanılan faktörler ve kriterler.....	51
4.5: FAO arazi uygunluk sınıflandırması.....	52
4.6: çeltik için arazi uygunluğunu belirleme kriterleri.....	52
4.7: AHP ve FAHP'nin Göreceli Önem ölçeği	58
4.8: MaxEnt yöntemine dayalı arazi uygunluk modellemesi için kullanılan değişken	63
4.9: Maritime bölgesi için seçilen değişkenler.....	66
4.10: Plateaux bölgesi için seçilen değişkenler.....	68
4.11: MaxEnt modelleme için parametre ayarını	73
4.12: İklim projeksiyonu için kullanılan 5 Genel Sirkülasyon Modeller.....	75

TABLÖLAR DİZİNİ (devam)

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
5.1: FAHP yöntemi ile çeltik ekimi için arazi uygunluk sınıfları ve ilgili alanlar	88
5.2: MaxEnt yöntemi ile çeltik ekimi için arazi uygunluk sınıfları ve ilgili alanlar	97
5.3: Jaccard benzerlik testinin sonucu	100



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
AHP	Analytic Hierarchy Process
AI	Artificial intelligence
ALSA	Agriculture Land Suitability Analysis
ANN	Artificial Neurone Network
BRT	Boosted Regression Tree
BTv	Backscatter Temporal Variance
CBS	Coğrafi bilgi sistemleri
CGIAR	Consultative Group for International Agricultural Research
DPW	Distance from Permanent Water
DSID	Direction des Statistiques Agricoles de l'Information et de la Documentation
DTR	Distance To Road
ENM	Environmental Niche Modeling
ESA	European Space Agency
EV	Environment Variables
EVI	Enhanced Vegetative Index
FAHP	Fuzzy Analytic Hierarchy Process
GEE	Google Earth Engine
GLM	Generalized Linear Model
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRRI	International Rice Research Institute
ISODATA	Iterative Self-Organizing Data
LAI	Leaf Area Index
LSWI	Land Surface Water Index
MaxEnt	Maximum Entropy

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
MCE	Multi Criteria Evaluation-
MLC	Maximum Likelihood Classification
MNDWI	Modified Normalized Difference Water Index
MSS	Multispectral Scanner
NDC	Nationally Determined Contributions
NDPI	Normalized Difference Polarized Index
NDPI	Normalized Difference Polarized Index
NDSI	Normalized Difference Soil Index
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NDWI	Normalized Difference Water Index
NVHI	Normalized VH Index/Radar Vegetation Index
OA	Overall Accuracy
OWA	Ordered Weighted Averaging
PA	Producer Accuracy
PMI	Paddy Rice Mapping Index
RADAR	RADio Detection And Ranging
RCP	Representative Concentration Pathway
RF	Random Forest
RFI	Radar Vegetation Index
S1	Sentinel 1
S2	Sentinel 2
SAA	Sub-Saharan Africa
SAR	Synthetic Aperture Radar
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index
SVM	Support Vector Machine

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
SWIR	Short-Wave Infrared
TM	Thematic Mapper
TNRDS	Togolese National Rice Development Strategy
TWI	Topographic Wetness Index
UA	User Accuracy
VHrVV	Polarized Ratio
VM	Vegetation Metrics

1. GİRİŞ

Pirinç, insanlığın yarısından fazlasının temel gıdası olup (Elert, 2014) talebi de küresel olarak artmaktadır. Sahra Altı Afrika'da (Sub-Saharan Africa-SAA) artan pirinç talebi, nüfus artışı, hızlı kentleşme ve artan kişi başı tüketimden kaynaklanmaktadır. Kişi başına pirinç tüketimi 54 kg olan SAA'nın, Asya'dan sonra dünyanın ikinci en yüksek yıllık kişi başına pirinç tüketimine sahip olması beklenmektedir (OECD/FAO, 2009). Çeltik üretimi son yıllarda artmasına rağmen, yerli üretim SAA'daki talebin ancak %53'ünü karşılamakta, kalan talep ise pirinç ithalatı ile karşılanmaktadır. Örneğin, 2008'de 74.060 ton olan pirinç ithalatı, 2017'de 178 636 tona yükselmiştir (MAPAH, 2020). 2004 ve 2012 yılları arasında ithalat, Togo hükümetine ortalama 95 milyon dolara mal olmuştur. Aynı dönemde Togo'da ulusal üretim ise 51 382 tondan 84 311 tona yükselmiştir. SAA'daki hükümetler ve kalkınma ajansları tarafından yerel çeltik pirinç üretimini arttırmak için çeşitli ulusal çeltik pirinç kalkınma stratejilerinin geliştirilmesi de dahil olmak üzere çeşitli stratejiler uygulanmıştır (Demont, 2013). Çoğu Afrika ülkesinde olduğu gibi Togo'da da ulusal üretimdeki küçük bir artış, ekili alanda büyük bir artışa neden olmaktadır. Örneğin, çeltik ekilen alan 2008 yılında 32.717 hektar iken 2017 yılında 84.395 hektara yükselmiştir (DSID, 2019). Bunun nedeni, düşük çeltik verimi (ortalama 2 ton/ha) ve zayıf su yönetimidir (Dossou-Yovo et al., 2022). Çevresel olarak, çeltik ekilen alanların artması, sera gazı emisyonlarında (Zhang et al., 2016) ve tatlı su kullanımında artışa (Bouman et al., 2007) biyoçeşitlilikte ise azalışa neden olabilmektedir (Borromeo, 2003). Bu iki önemli yönü göz önünde bulundurarak, çeltik tarlalarının mekânsal dağılımının doğru ve güncel şekilde değerlendirilmesi, politika yapıcılar, çeltik çiftçileri ve tüketiciler de dahil olmak üzere tüm paydaşlar için kilit bilgi olarak hizmet edecektir (Akpoti et al., 2020, 2021). Çeltiğin mekânsal dağılımının haritalanması, iklim değişikliği ve su kıtlığı bağlamında planlamayı desteklemek için gereklidir (Dossou-Yovo et al., 2022).

Uzaktan algılama teknikleri, Landsat uydu görüntülerinin 1973 yılında piyasaya sürülmesinden bu yana çeltik üretim alanlarının haritalanmasında kullanılmaktadır (Hoang et al., 2016). Çeltik alanlarının haritalanması; çeltiğin farklı büyüme aşamalarındaki özellikleri ile yetiştirme ortamının diğer mahsullerden ve arazi örtülerinden farklı olduğu ilkesine dayanmaktadır. Gerçekten de çeltik,

büyüme aşamalarında bol suya ihtiyaç duyan tek mahsuldür. Su-toprak-bitki örtüsü bileşiminin zamansal değişimi, çeltiğin tanımlanmasında kritik bir faktördür. Bu nedenle, çeltiğin tanımlanması, su kütlesi, toprak ve bitki örtüsü karışımına duyarlı olan spektral bantları veya indeksleri gerektirmektedir (Dong and Xiao, 2016). Optik uzaktan algılama sensörleri, dünya çapında çeltik alanlarını haritalamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünya yüzeyini 0.4 ila 2.5 μm spektral aralıkta görüntüleme yetenekleri nedeniyle çeltik pirincini ayırt etmek ve alanlarını ölçmek için kullanılmıştır (Mosleh et al., 2015). En çok kullanılan optik sensörler arasında Landsat, Spot VGT, NOAA-AVHRR, MODIS ve son zamanlarda Sentinel-2 bulunmaktadır (Tennakoon et al., 1992; Nguyen et al., 2012; Fang et al., 1998; Shi et al., 2013; Liu et al., 2020). Sınıflandırma yaklaşımı genellikle ya spektral imza kümelerinin oluşturulmasına ve görüntü bantlarının kombinasyonuna ya da Arazi Yüzey Suyu İndeksi (Land Surface Water Index-LSWI) (Teluguntla et al., 2015; Torbick and Salas, 2014), Geliştirilmiş Vejetatif İndeks (Enhanced Vegetative Index -EVI) (Son et al., 2013; Shihua et al., 2014) ve Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) (Pan et al., 2010; Guan et al., 2016) gibi optik görüntülerden türetilen indekslerin kullanımına dayanmaktadır. Optik sensörlerin kullanıldığı çalışmaların çoğunda, bulut örtüsünün, özellikle tropik bölgelerde yoğun bitki örtüsü ve yüksek yağış alanlarında sınırlayıcı bir faktör olduğu ortaya koymuştur.

Optik görüntülerin aksine, radar görüntüleri tüm hava koşullarında kullanılabilir ve ayrıca çeltik tarlalarını diğer bitki örtüsü tiplerinden ayırt etme yeteneğine sahiptir (Ramadhani et al., 2021; Nurtyawan et al., 2018). Sonuç olarak, 1990'lardan beri mikrodalga uzaktan algılama (radar görüntüleri), çeltik tarlalarının haritalanması ve tespit edilmesi girişimlerinde iyi sonuçlar veren bir araç olmuştur. Li et al. (2020), Sentetik Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar-SAR) görüntüsüne dayalı çeltik alanı sınıflandırma yöntemlerinin iki yaklaşıma ayrılabilceğini belirtmişlerdir. Çeltik büyüme sürecinde dinamik su sinyallerini ve geri saçılma özelliklerini yakalamak için geri saçılma özelliklerinin, polarizasyon oranının, indeksin veya polarimetri ayrışmaların kullanılması (Zhang et al., 2009; Inoue et al., 2014; Nguyen and Wagner, 2017) ve SAR geri saçılmasının zaman serisi analizi (Mansaray et al., 2017; Nguyen et al., 2016; Mandal et al. (2020). SAR görüntülerine dayalı çeltik sınıflandırmasında kullanılan ana oranlar ve indeksler

şunlardır: polarize oran (VH/VV, VV/VH vb.) (Lasko et al., 2018) ve Normalize Fark Polarize İndeks (Normalized Difference Polarized Index – NDPI) (VH-VV/VH+VV ve VV-VH/VV+VH) (Schulz et al., 2021). Bununla birlikte, Radar Bitki Örtüsü İndeksi (Radar Vegetation Index-RVI) gibi diğer SAR türevli indekslerin, ekinlerin dinamiklerini ve fiziksel özelliklerini takip etme kabiliyeti kabiliyetine sahip olduğu belirlenmiştir (Mandal et al., 2020).

Literatürde çeltik ekilen alanları izlemek için etkili araçlar olarak başarıyla geliştirilen çeşitli yöntemler bildirilmiştir. Ancak bu çalışmaların %90'ı ağırlıklı olarak Asya'da uygulanmıştır. Bu ilginin temel nedeni, Asya'nın dünyadaki en büyük çeltik üreticisi olması ve dünya üretiminin yaklaşık %89,57'sini oluşturmasıdır. Afrika'da çeltik alanlarının haritalanması neredeyse hiç yoktur veya seçilmiş alanlarla sınırlıdır. Bunun iki ana nedeni vardır: Afrika'da çeltik üretiminin düşük seviyede olması (dünya üretiminin yaklaşık %3'ü) ve çeltik yetiştirme ortamının Asya'dakinden farklı olmasıdır. Gerçekten de, Afrika'daki çeltik yetiştirme ortamı, bir yandan sulu çeltik yetiştirme sisteminin düşük temsili ve diğer yandan parçalı, küçük, dinamik ve sürekli genişleyen ekim alanları ile karakterize edilmektedir. Sonuç olarak, uzaktan algılama teknikleri kullanılarak çeltik tarlalarının haritalanması Afrika için bir zorluk olmaya devam etmektedir (Yin et al., 2020; Schulz et al., 2021).

2014 yılında, Uluslararası Pirinç Araştırma Enstitüsü (International Rice Research Institute-IRRI) ve Benin'deki Afrika Pirinç Merkezi (AfricaRice) tarafından ortaklaşa düzenlenen uzaktan algılama uzmanları toplantısı, radar uzaktan algılama görüntülerinin Afrika'daki çeltik tarlası haritalaması için iyi bir yaklaşım olabileceğini ortaya koymuştur (Zwart et al., 2014). Yüksek uzamsal ve zamansal çözünürlüklü Sentinel-1 (S1) ve Sentinel-2 (S2) görüntülerinin ücretsiz olarak temin edilebilmesi, Afrika'da çeltik haritalamada yeni bir trend ortaya çıkarmıştır. Son zamanlarda, bazı araştırmacılar Afrika'da çeltik haritalamak için farklı metodolojiler önermişlerdir (Fiorillo, et al., 2020; Talema and Hailu, 2020; Schulz et al., 2021). Önerilen bu metodolojiler temel olarak, S2 görüntülerinin bazı bantları ve bunlardan türetilen bazı indekslerle (NDVI ve Modified Normalized Difference Water Index-MNDWI) birlikte, S1 görüntülerinin geri saçılım özelliklerinin (VH ve VV) ve polarize oranlarının kullanılmasına (Normalized VH

Index-NVHI, Normalized VH Index-NVVI) dayanmaktadır. Bu metodolojiler küçük ölçeklerde uygulanmış ve nadiren %90'ın üzerinde bir genel doğruluk elde edilmiştir. Ayrıca, Fiorillo et al. (2020), benzer zamansal desenler ve yüksek sınıf içi değişkenlik nedeniyle çeltiğin doğal otsu bitki örtüsünden ayırt edilmesinde metodolojinin zorluğunun altını çizmişlerdir. Google Earth Engine (GEE) gibi yüksek performanslı bulut bilgi işlem platformlarının yakın zamanda geliştirilmesiyle, büyük ölçekli jeo-uzamsal görüntü analizi artık mümkündür (Gorelick et al., 2017).

Togo tarımı esas olarak yağmurla beslenmektedir. Çeltik yetiştiriciliğinde, daha çok taban araziler ve nemli iklim alanlarında yapılan üretim (inland ecology) şekli seçilmektedir. Tarımsal başarı, su kontrolünün olmaması nedeniyle sürdürülebilir olamamaktadır. Bu sorunu düzeltmek, Togo hükümeti için bir öncelik haline gelmiştir. TNRDS'ye (Togolese National Rice Development Strategy-TNRDS, 2010) göre, sulama kapasiteli arazi potansiyeli 86.000 Hektar olup, ekilebilir arazilerin %2.4'ünü oluşturmaktadır. Şu anda tamamen veya kısmen su kontrolünde olan sulanan alanlar sadece 2 300 hektar ile sulanabilir potansiyelin yaklaşık %1'i kadardır. Sulama ekipmanları ağırlıklı olarak Maritime, Plateaux ve Savane bölgelerinde bulunmakta ve çeltik, sebze üretimi ve şeker kamışı için kullanılmaktadır. Togo'da üretilen çeltiğin %30'u, ortalama 3 ton/ha verimle sulu çeltik yetiştiriciliğinden gelmektedir (MAPAH, 2020). Genel olarak, su kontrolü çerçevesinde gerçekleştirilen eylemler, iç kesimlere göre yönetimi daha zor olan alüvyal ovaları ilgilendirmektedir (Akpoti et al., 2019). Çeşitli projeler çerçevesinde yürütülen çalışmaların çoğu hem tasarımında hem de geliştirilmesinde ve uygulanmasında paydaşların yetersiz katılması nedeniyle önemli başarılar elde edilememiştir.

Togo devletinin istemesine rağmen, çeltik ekimi için arazi potansiyeli hakkında çok az bilgi mevcuttur. Ayrıca, çeltik yetiştirme alanlarının mekânsal dağılımı hakkında da herhangi bir bilgi yoktur. Bu bilgi, planlama ve karar verme faaliyetlerinde bir referans oluşturduğu için önemlidir.

Akpoti et al. (2020), Çevresel Niş Modelleme (Environmental Niche Modeling-ENM) yöntemini iklim değişkenliğini de hesaba katarak kullanmışlardır.

Togo ve Benin'de iç vadi (nemli iklim bölgelerindeki ovalar veya tabanlar-*Inland valley*) için uygunluğunu haritalandırmışlardır. Bu araştırmanın sonuçları, Togo'daki iç vadide 155.000-225.000 hektar alanın çeltik tarımı için uygun olduğunu göstermektedir (Akpoti et al., 2020). Bu çalışmanın Togo'da çeltik üretiminin arazi uygunluğuyla ilgili yayınlanan tek çalışma olduğu unutulmamalıdır. Ancak bu çalışma, uygunluklarını değerlendirmek için ekim sistemlerinden bağımsız olarak çeltiğin mevcut mekânsal dağılımını ele almamıştır. Bu koşullar altında, Togo'daki çeltik mekânsal dağılımının haritalanması bir zorunluluk olmaya devam etmektedir.

Togo'da çeltik yetiştiriciliği, su yönetimi ve iklim değişikliğinin çevresel zorluklarıyla da güçlü bir şekilde bağlantılıdır. Çeltik, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı en hassas tahıl mahsulüdür. Geçtiğimiz on yılda çeltik, benzeri görülmemiş kuraklık ve sellerin etkileriyle giderek daha fazla tehdit altına girmiştir. Kuraklığın neden olduğu su stresi yalnızca çeltiğin büyüme süresini büyük ölçüde etkilemekle kalmamakta, aynı zamanda çeltik yetiştiriciliğinin üreme aşamasında, özellikle çiçeklenme döneminde hasara neden olmaktadır. Olgunluk aşamasında kaydedilen seller, verime ciddi zarar vermektedir. Bu durum üretimde düşüşe, başta metan olmak üzere sera gazı emisyonlarında artışa neden olmakta ve su basmış organik karbonun ayrışmasını hızlandırmaktadır. Ulusal olarak Belirlenen Katkı Payı raporuna (TCN, 2015) göre, Togo çeltik yetiştiriciliği 4,83 Gg CO₂ eşdeğeri yaymaktadır. Aynı zamanda, iklim öngörülerinden Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (Intergovernmental Panel on Climate Change -IPCC) RCP8.5 senaryosuna göre 2075 yılına kadar Togo yağışında bir artış beklenmektedir. Yağıştaki bu artış, kısa bir süre için şiddetli yağış ile karakterize edilecektir. Bu, 2075 yılına kadar Togo'nun, doğru önlemler alınmazsa verimi etkileyecek daha fazla sel yaşayacağı anlamına gelmektedir. Bu koşullarda, iklim değişikliğinin gelecekteki çeltik üretim potansiyeli üzerindeki etkilerinin belirlenmesi bir zorunluluktur. Akpoti et al. (2020), iklim değişikliği, iklim değişikliği senaryolarından (RCP2.6, 4.5, 6.0 ve 8.5) bağımsız olarak iç vadilerdeki çeltik üretimi potansiyelini etkilemektedir. Olumsuz etki RCP8.5 senaryosu altında kaydedilmiş ve uygun alanların potansiyelinde %52,4-%66,4 azalış öngörülmektedir. Bu, çeltik yetiştirme sistemlerinden yağışa bağlı çeltik tarımının sürdürülemeyeceği anlamına gelmektedir.

Genel olarak, Togo'da, çeltik yetiştiriciliğinin gıda güvenliği ve su kaynakları yönetimi açısından çok önemli olduğu açıktır. Bu nedenle, çeltik yetiştiriciliğinin mevcut ve gelecekteki iklim değişikliği koşulları altında doğru haritalanması, izlenmesi ve arazi uygunluğunun değerlendirilmesi aşamaları Togo'da gıda güvenliği, sürdürülebilir kalkınma ve sosyo-ekonomik kalkınmayı sağlamak için çok önemlidir.

Bu araştırma projesi ile Togo'da verimli ve sürdürülebilir çeltik tarımının planlanması ve uygulanmasına önemli ölçüde destek verilmesi amaçlanmıştır. Proje çerçevesinde aşağıdaki önemli alt hedeflere ulaşılması hedeflenmiştir;

- (i) Güney Togo'da mikrodalga uzaktan algılama tekniklerini kullanarak çeltik yetiştirme alanlarının mekânsal dağılımının haritalanması.
- (ii) Gözlemlenen iklim verileri ve küresel iklim modelleri verilerini kullanarak mevcut ve gelecekteki iklim değişikliği koşullarında çeltik yetiştiriciliği için arazi uygunluğunun analiz edilmesi.
- (iii) Topoğrafya, iklim ve toprak haritaları da kullanılarak çok katmanlı çeltik tarımına arazi uygunluk analizi için bir model geliştirilmesi.
- (iv) İklim değişikliğinin zararlı etkilerini dikkate alarak, çeltik yetiştiriciliğinin mekânsal ve zamansal potansiyeli üzerine niteliksel ve niceliksel analiz yapması.

Bu çalışmada, çeltik haritalaması için, rastgele orman algoritmasını (Random Forest-RF) uygulayarak S1 VH geri saçılma zaman serilerine (S1-VH), S1 zaman serisi verilerinden türetilen Bitki Örtüsü Metriklerine (SAR-VM) ve çevresel verilere (EV) dayalı farklı metodolojiler önerilmiştir. SAR-VM ve EV entegrasyonunun karmaşık ürün koşulları altında çeltiği daha iyi tanımlayacağı varsayılmıştır.

Çeltik ekimi için arazi uygunluk analizinde çeşitli yöntemler kullanılmakta ve bunlar iki büyük gruba ayrılmaktadır. Bunlar: geleneksel yöntemler ve modern yöntemlerdir. Bu çalışmada, modern yöntemler, çeşitli kriterleri sistematik ve

verimli bir şekilde analiz etme yetenekleri de dahil olmak üzere çeşitli nedenlerle tercih edilmiştir. Çok sayıda modern yöntemin varlığı nedeniyle, bu çalışmada literatürde etkili olduğu düşünülen iki yöntemin karşılaştırmalı bir analizi önerilmiştir. Bunlar: Bulanık Mantık ve Çok Kriterli Analiz (Fuzzy Analytic Hierarchy Process-FAHP) kombinasyonuna dayalı modern yöntem ve makine öğrenimi tekniğine dayalı modern yöntemdir (MaxEnt). Gelecekteki iklim senaryosu modellemesi için, CGIAR İklim Değişikliği, Tarım ve Gıda Güvenliği Araştırma Programından elde edilen mekânsal olarak küçültülmüş ve ön tahmin düzeltmeli iklim verileri kullanılmıştır.



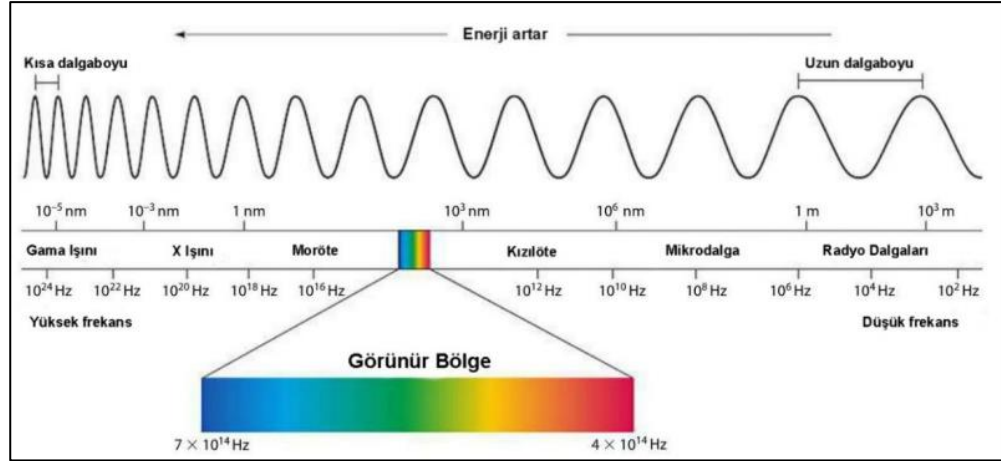
2. UZAKTAN ALGILAMA VE ARAZİ UYGUNLUĞU TEKNİKLERİNE GENEL BAKIŞ

2.1. Uzaktan Algılama Tekniğı ve Temel Prensipleri

2.1.1. Tanım ve ilkeler

Uzaktan algılama, incelenen nesne, alan veya fenomenle temas halinde olmayan bir cihaz tarafından elde edilen verilerin analizi yoluyla bir nesne, alan veya fenomen hakkında bilgi edinme bilimi ve sanatıdır (Lillesand et al., 2015). Bu cihazlar uçaklara, dünyanın yörüngesindeki uzay araçlarına, dronlara vb. monte edilebilir ve sensörler olarak adlandırılmaktadır. Bu sensörler, kuvvet dağılımlarındaki değişiklikler, akustik dalga dağılımları veya elektromanyetik enerji dağılımları dahil olmak üzere farklı veri formları toplayabilmektedir. Böylece, uzaktan algılama teknikleri bir dizi alana uygulanabilmektedir. Yer kaynaklarının envanteri, haritalanması ve izlenmesi alanında, genellikle havadan ve uzaydan gelen platformlardan çalıştırılan elektromanyetik enerji sensörleri kullanılmaktadır. İlke, bir nesne tarafından yayılan veya yansıtılan elektromanyetik enerjinin, elektromanyetik enerji sensörleri tarafından yakalanmasıdır. Belirli bir sıcaklıktaki herhangi bir nesne doğal olarak elektromanyetik radyasyon yaymalıdır ve enerji miktarı kaynak sıcaklığıyla orantılıdır.

Elektromanyetik (EM) spektrum, gama ışınlarından (en yüksek frekans ve en kısa dalga boyu) radyo dalgalarına (en düşük frekans ve en uzun dalga boyu) uzanan ve görünür ışığı içeren sürekli elektromanyetik radyasyon aralığıdır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Elektromanyetik spektrum (Kurucu vd., 2017).

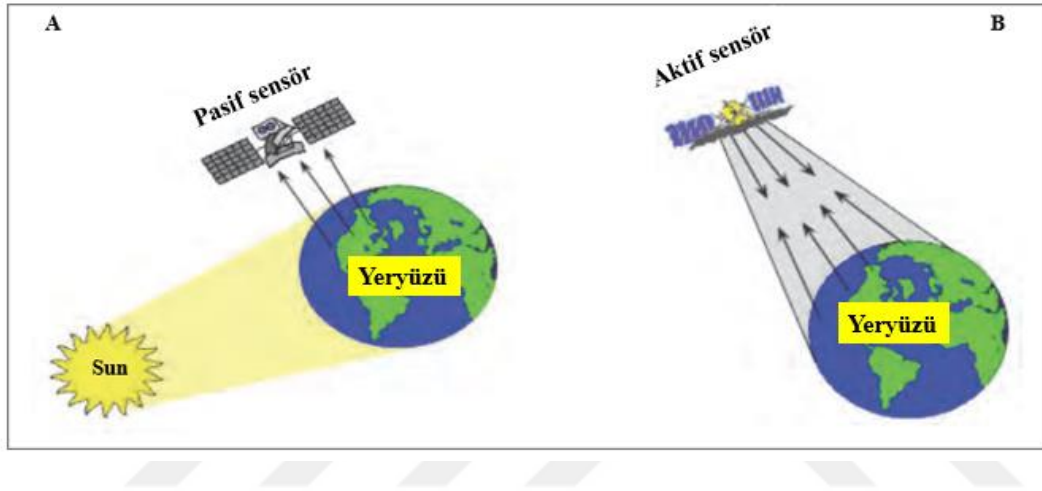
Elektromanyetik spektrumda, uzaktan algılamada ilgilenilen başlıca bölgeler görünür ışık, yansıyan ve yayılan kızılötesi ve mikrodalga bölgeleridir. Bu radyasyonun ölçümü bilinen spektral bantlarda gerçekleşmektedir. Bir spektral bant, EM spektrumun ayrık bir aralığı olarak tanımlanmaktadır (Aqeel et al., 2011). Uydu sensörleri, görevlerine göre, spektral bantlar içindeki tepkileri ölçmek üzere tasarlanmıştır (Mitra and Zaman, 2015).

Uydu sensörlerinin tasarımı, EM spektrumdaki tüm ölçülebilir parçalar boyunca yeryüzündeki objelerin absorpsiyon özelliklerine dayanmaktadır. Uzaktan algılamada, bir dedektör yeryüzündeki objelerden yansıyan elektromanyetik radyasyonu ölçer (Aqeel et al., 2011). Çalışmalar, ilgilenilen birçok dünya yüzeyi özelliğinin, spektral özelliklerine göre tanımlanabileceğini, haritalandırılabilirliğini ve incelenebileceğini göstermiştir. Bu spektral özelliklere spektral imzalar denmektedir. Bu nedenle, uzaktan algılama verilerini etkili bir şekilde kullanmak için, herhangi bir uygulamada incelenen özelliklerin spektral imzasını bilmek ve anlamak gerekmektedir (Lillesand et al., 2015).

2.1.2. Uzaktan algılama yöntemleri

Uzaktan algılamada, algılanan enerjinin kaynağına (veya tespit edilen dalgaya) göre iki tür sensör yer almaktadır (Şekil 2.2). Pasif sensörler bir enerji kaynağına, genellikle güneşe bağlıdır. Bu durumda, algılanan enerji harici bir kaynak tarafından yayılır ve hedef tarafından yansıtılır veya doğrudan hedef

tarafından yayılmaktadır. Aktif sensörlerin kendi enerji kaynakları vardır. Algılanan dalga başlangıçta sistemin kendisi tarafından yayılır ve hedef tarafından yansıtılmaktadır. Bir başka fark ise sensörler tarafından kaydedilen enerjinin dalga boyu ile ilgilidir. Bu sistemlerden aktif uzaktan algılama tekniği optik sistem ile çalışırken aktif uzaktan algılama sistemi ise mikrodalga boyundaki enerji ile çalışır. Bir ayrım, sensörler tarafından kaydedilen radyasyonun ait olduğu elektromanyetik alanla ilgili olup optik alanda çalışanlar ve mikrodalga alanında çalışanlar olmak üzere iki gruba ayrılır.



Şekil 2.2: Uzaktan algılamada sensör tipleri ve mekanizmaları

Optik uzaktan algılama olarak da adlandırılan pasif uzaktan algılama, sensörleriyle güneşten gelen ve gözlemlenen yüzeyler tarafından yansıtılan optik radyasyonu kaydeden bir platform kullanmaktadır. Optik alanda, ilgili dalga boyu aralıkları görünür ışık ile uzantı olarak kızılötesi ve nadiren de morötesidir. Aktif uzaktan algılama ile ilgili olarak, mikrodalga aralığında çalışır ve hem karasal yüzey tarafından doğal olarak yayılan mikrodalgaları yakalayan pasif sistemleri hem de aktif sistemleri içermektedir (Bouvet, 2009). Tablo 2.1 de pasif ve aktif uzaktan algılamaya ait bilgiler yer almaktadır.

	Pasif uzaktan algılama	Aktif uzaktan algılama
Radyasyon	Görünür ışık: 380-760 nm; Kızılötesi: 0,76-10 µm; morötesi: 10-380 nm.	Mikrodalga: 0.75-100 cm
Hava Koşulları	Uzak sensörler yansıyan elektromanyetik radyasyonun doğru okunmasını yakalayamadığı için hava koşullarından önemli ölçüde etkilenmektedir.	Kötü hava koşullarından etkilenmez, çünkü olumsuz hava koşullarından

		etkilenmeden enerjisini doğrudan hedefe yayar.
Görüntü Açısı	Hava koşullarından etkilenen güneş ışığındaki farklılıklar nedeniyle yer nesnelerinin daha az doğru ölçüm okumalarını sağlamaktadır.	Farklı hedef perspektifleri oluşturan, zemin nesnesinin daha doğru okunmasını sağlayan sığ görünüm açılarına izin verir,
Enerji Miktarı	Aydınlatılmış nesneden ölçümleri kaydetmek için elektromanyetik radyasyonun yansımaları elde etmek için güneş ışığına ihtiyaç duymaktadır.	Aydınlatma için yeterli elektromanyetik radyasyon üretmek için büyük miktarda enerji gerektirmektedir.
Penetrasyon Kapasitesi	Bitki örtüsü, su kütleleri, toprak ve kardan geçemez.	Bitki örtüsü, su kütleleri, toprak ve kar yoluyla radyasyon penetrasyonuna izin verir ve dünya yüzey bilgilerinin toplanmasında mükemmeldir ve herhangi bir hava koşulu tarafından engellenmez;
Veri Yorumlama Zamanı	Daha az hesaplama gereksinimi olan verilerin hızlı, verimli ve pratik yorumları.	Büyük miktarda veri toplanır ve hesaplamak, işlemek, yorumlamak ve sunmak için çok zor olabilir.
Uydu örneği	NOAA AVHRR, LANDSAT (TM, OLI), SPOT VG, MODIS, IKONOS, SENTINEL-2 VB.	RADARSAT-2, ENVISAT, SENTINEL-1, vb.

Tablo 2.1: Aktif ve pasif uzaktan algılamanın karşılaştırılması

2.1.3. Önemli SAR parametreleri

Bir SAR'ın konfigürasyonu temel olarak üç parametre ile karakterize edilmektedir: iletim frekansı, iletim ve alım polarizasyonu ve geliş açısı.

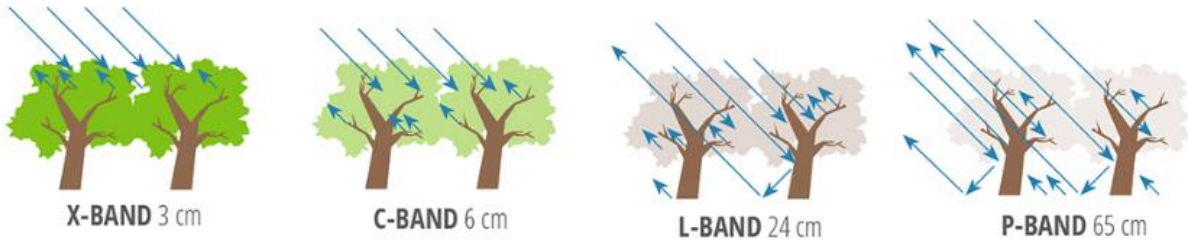
Dalga boyu ve frekans, SAR ile çalışırken göz önünde bulundurulması gereken önemli bir özelliktir. Çünkü radar sinyalinin yüzeyle nasıl etkileşime girdiğini ve bir sinyalin bir ortama ne kadar penetre edebileceğini belirlemektedir. SAR'ın farklı dalga boyları genellikle X, C, L ve P gibi harf atamalarına sahip bantlar olarak adlandırılır. Tablo 2.2'de ilişkili frekans, dalga boyu ve bu bant için tipik olan uygulamalara yer verilmiştir (Flores-Anderson et al., 2019).

Bant	Frekans (GHz)	Dalga boyu (cm)	Tipik uygulama
X	8–12	3.8–2.4	Yüksek çözünürlüklü SAR (kentsel izleme, buz ve kar, bitki örtüsüne az nüfuz etme; bitki örtüsü alanlarında hızlı tutarlılık çürütmesi)
C	4–8	7.5–3.8	SAR Workhorse (küresel haritalama; değişiklik tespiti, düşük ila orta penetrasyona sahip alanların izlenmesi; daha yüksek tutarlılık); buz, okyanus deniz navigasyonu

S	2-4	15-7.5	SAR tabanlı Dünya gözlemi için çok az ama artan kullanım; tarım izleme (NISAR bir S-bant kanalı taşıyacak; C-bandı uygulamalarını daha yüksek bitki örtüsü yoğunluğuna harcayacak)
L	1-2	30-15	Orta çözünürlüklü SAR (jeofizik izleme; biyokütle ve bitki örtüsü haritalama, yüksek penetrasyon, InSAR)
P	0.3-1	100-30	Biyokütle; bitki örtüsü haritalama ve değerlendirme.

Tablo 2.2: Aktif uzaktan algılamada kullanılan bantların özellikleri

Dalga boyu sinyalin penetrasyon derinliğini değiştirdiğinden, farklı saçılma türlerine atfedilen sinyal miktarının dalga boyunun bir fonksiyonu olarak değişebileceğine dikkat etmek önemlidir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: SAR ölçümlerinin hassasiyeti ve farklı dalga boylarında kanopi içine nüfuz etmesi (NASA, 2021)

Polarizasyon, iletilen elektromanyetik dalganın salındığı düzlemin yönünü ifade etmektedir. Oryantasyon herhangi bir açıda gerçekleşebilirken, SAR sensörleri tipik olarak doğrusal polarize iletir. Yatay polarizasyon H harfi ile gösterilir ve dikey polarizasyon V ile gösterilir (Flores-Anderson et al., 2019). Dikey (V) polarizasyonda yayılan ve yatay (H) polarizasyonda alınan sinyaller VH ile gösterilecektir. Ek olarak, yatay (H) olarak yayılan ve yatay (H) olarak alınan bir sinyal HH ile gösterilir ve bu şekilde devam etmektedir.

Son olarak, radar ışığının dünya yüzeyine geliş açısı, hedef geri saçılımının önemli bir parametresidir. Bu açı on beş ile elli derece arasında değişir ve antenin eğilmesi ile sabitlenebilir ya da ayarlanabilir.

Uzun süre askeri uygulamalarda kullanılan Landsat'ın 1974'te fırlatılması uzaktan algılama tekniğinin kullanımında artış sağlamıştır. Uzaktan algılama tekniği her zaman dünyadaki fenomenleri analiz etmek, yorumlamak ve hatta tahmin etmek için kullanılmıştır. Bunun başlıca sebepleri arasında iyi çözünürlüğe sahip verilerin mevcudiyeti, büyük ölçekli analizler yapabilme imkânı, bilgisayarların ve bulut bilişimin kapasitelerinin gelişmesi ve uydu verilerinin

çoğuna daha düşük maliyetle erişilebilmesi sayılabilmektedir. Bu nedenle, son yıllarda, tarım sektörünün karşılaştığı zorluklar göz önüne alındığında, uzaktan algılama tekniklerinin kullanımı önemli bir çözüm haline gelmiştir. Tarım sektörünün temel zorluğu, çevrenin bileşenlerini korurken sürekli büyüyen bir nüfus için değişmeyen bir alanda gıda üretmektir.

2.1.4. Tarımda uzaktan algılama tekniklerinin kullanımı

Miktar ve büyük ölçekte veri sağlama kapasiteleri ve potansiyelleri sayesinde, günümüzde uzaktan algılama teknikleri tarımın birçok alanında pratik olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, bir veri kaynağı olarak uzaktan algılama, coğrafi modelleme ve analiz metodolojilerini desteklemek için CBS ile birleştirilebilir. Bu nedenle, tarımda uzaktan algılama tekniği; bitki örtüsünün izlenmesi, mahsul durum değerlendirmesi, sulama suyu yönetimi ve haşere yönetiminin izlenmesi vb. alanlarda uygulanmaktadır. Bu araştırmanın doğası gereği, bu bölümdeki analiz daha çok kanopi izleme ve sulama suyu yönetimine odaklanacaktır.

2.1.4.1. Tarımda pasif uzaktan algılama teknikleri

Arazi kullanımı ve arazi örtüsü ile ilgili uzaktan algılama verileri, ancak elektromanyetik radyasyonun bitki örtüsü ve altta yatan toprakla etkileşim mekanizmaları biliniyorsa yorumlanabilir. İlk dünya gözlem uydu misyonundan bu yana, çalışmalar geniş bant sensörleri kullanarak radyometrik yanıtı ve bitki örtüsünü karakterize etmeye odaklanmıştır. Spektral bantlar arasında, kırmızı ve yakın kızılötesi özellikle bitki örtüsü koşullarına karşı yüksek hassasiyet göstermiştir. Kırmızı bant, bitki fotosentetik işlemi için gerekli olan klorofil tarafından emilirken, yakın kızılötesi yaprak hücresel yapıları tarafından yansıtılmaktadır. Böylece, her iki bantın kombinasyonu, bitki örtüsünü diğer yeryüzü cisimlerinden ayırmaya ve bitkinin gelişme durumunu ölçmeye izin vermektedir. Bu nedenle, bitki örtüsü özellikleri genellikle bir yansıma spektrumunu bitki örtüsü ya da vejetasyon indeksi olarak bilinen tek bir sayı değerine dönüştürerek ölçmektedir.

Bitki örtüsü indeksi ile ölçülen bitki örtüsü özellikleri genellikle üç ana kategoriye ayrılabilir. Bunlar: (1) yapı, (2) biyokimya ve (3) bitki fizyolojisi

(Thenkabail et al., 2019). Sıklıkla ölçülen yapısal özellikler arasında fraksiyonel örtü, yeşil biyokütle, yaprak alan indeksi (Leaf Area Index-LAI), yeşil LAI, yaşlanmış biyokütle ve fotosentetik olarak aktif radyasyonu kesir olarak yer almaktadır (Sellers, 1985). Biyokimyasal özellikler arasında su, pigmentler (klorofil, karotenoidler, antosiyaninler), diğer azot bakımından zengin bileşikler (örneğin proteinler) ve bitki yapısal malzemeleri (lignin ve selüloz) bulunmaktadır (Thenkabail et al., 2014). Fizyolojik ve stres indeksleri, ksantofil döngüsü pigmentlerinde (Gamon et al., 1992), klorofil içeriğinde (Horler et al., 1983), floresan (Zarco-Tejada et al., 2000) veya yaprak neminde (Hunt and Rock, 1989) strese bağlı değişiklikleri ölçmektedir. Bu çalışmada yapısal özelliklere odaklanılacaktır.

Tarımda, bitki örtüsü yapısını ve arazi kullanım türünü ölçmek için birçok bitki örtüsü indeksi tasarlanmıştır. Bitki örtüsü analizi için ilk bitki örtüsü indekslerinden biri LAI tahmininde kullanılan basit orandır (BO) (Jordan, 1969). Kısa bir süre sonra, iki bant arasındaki normalleştirilmiş bir fark kullanılarak atmosferik saçılmanın etkisini azaltmak için NDVI gibi basit oranın normalleştirilmiş formları geliştirilmiştir. Hem BO hem de NDVI, nemli ve kuru yeşil biyokütle ve LAI'nin iyi tahminçileridir (Tucker, 1979). Bununla birlikte, NDVI yüksek LAI değerlerinde doygunluğa ulaşır ve görüntüleme geometrisi ve alt tabaka yansımalarına göre değişir. Bunu telafi etmek için Thenkabail et al. (2000) tarafından NDVI'nin dar bant versiyonları önerilmiştir. Önerilen versiyonlarda dalga boyu seçimi, fotosentetik olmayan bitki örtüsüne karşı hassasiyeti azaltmak veya LAI, nemli biyokütle ve kanopi yüksekliğinin ürüne özgü tahminlerini iyileştirmek için optimize edilmiştir.

Kanopi yapısı tahminlerini iyileştirmek ve atmosfer ile alt tabakanın etkisini en aza indirmek için NDVI'ya dayalı diğer indeksler önerilmiştir. Toprak ayarlı bitki örtüsü indeksi (Soil Adjusted Vegetation Index-SAVI) (Huete, 1988) buna bir örnektir. Yapıyı ölçmek için görünür ve Kısa Dalga Kızılötesi (Short-Wave Infrared-SWIR) yansımalarını kullanan NDVI varyantı da önerilmiştir. Kırmızı kenarın şeklini ve konumunu değiştiren LAI'deki değişikliklerin yanı sıra gölgelik spektrumlarındaki sıvı su ifadesini tespit etmek için daha karmaşık indeksler de tasarlanmıştır (Roberts et al., 2004).

Hassas su yönetimi için optik, termal ve mikrodalga bantlarında uzaktan algılama kullanılarak çok sayıda indeks ve yaklaşım geliştirilmiş ve test edilmiştir. Das et al. (2021), dört toprak derinliğinde ve bitki örtüsü kök bölgelerinde gerçek zamanlı olarak 1 km uzamsal çözünürlükte toprak nemi ve toprak sıcaklığı verilerini sağlamayı amaçlayan bir hesaplama aracı olarak yüksek çözünürlüklü bir arazi veri asimilasyon sistemi kullanarak toprak nemi ve sıcaklığı haritalarını oluşturmuştur. Termal bölgedeki hiper spektral bantların gelişimindeki artışla birlikte uzaktan algılama, bitki toprağı özelliklerinin anlaşılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Global konumlama sistemi araçları ile bağlantılı bu tür bilgiler, hassas tarımda daha yararlı olan umut verici sonuçlar sağlayacaktır (Kumar et al., 2021).

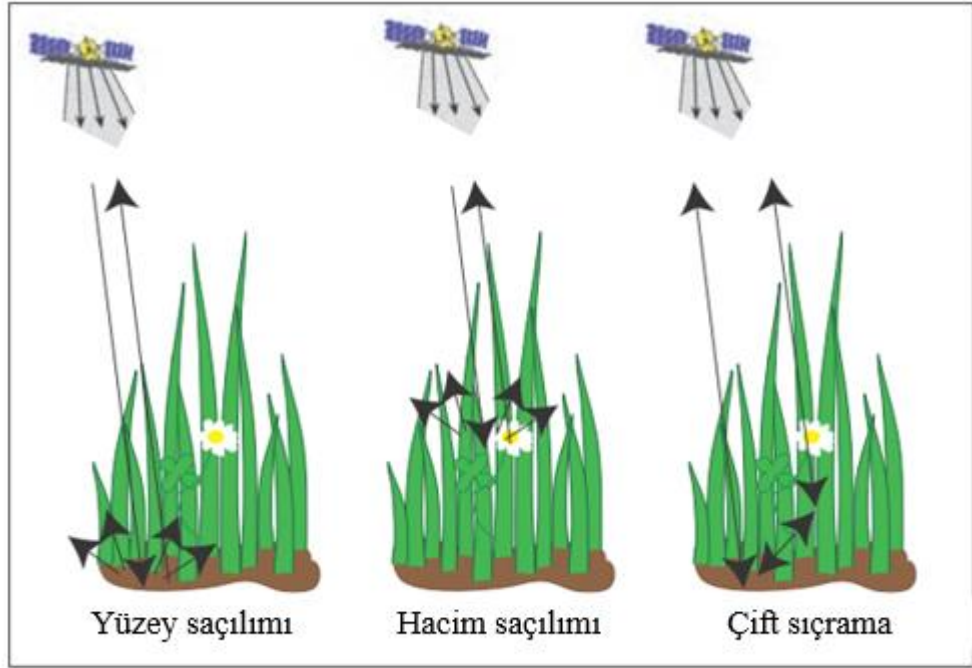
2.1.4.2. Tarımda aktif uzaktan algılama teknikleri

Aktif veya mikrodalga uzaktan algılama, her türlü iklimsel ve atmosferik koşulda veri sağlamaya imkân verdiğinden, tarımsal uygulamalarda yaygın şekilde kullanılır hale gelmiştir. Bu kapsamda, Radar (RAdio Detection And Ranging), mikrodalga uzaktan algılama uygulamasındaki ana sensörlerden biridir. Genel anlamda, bir elektromanyetik dalgayı bir hedefe doğru gönderen bir verici antenden ve hedef tarafından geri saçılan dalgayı geri kazandıran bir alıcı antenden oluşan sistemlerdir. Günümüzde uzay uzaktan algılamada kullanılan görüntüleme radarları sentetik açıklıklı radarlardır. Açıklık sentetiği prensibi, azimut çözünürlüğünü iyileştirmek için uygun elektronik işlemler kullanılarak anten açıklığının sanal olarak iyileştirilmesinden oluşur. Bu tür sistemler, en yenileri için birkaç metrelik ve bazı uygulamalar için 1 km'ye kadar yersel çözünürlüklere ulaşmayı mümkün kılmaktadır (Bouvet, 2009).

Günümüzde, radar uzaktan algılamanın tarımdaki uygulamaları temel olarak mahsul sınıflandırma ve tanımlama, tarım arazisi parametrelerinin inversiyonu (su içeriği ve yüzey pürüzlülüğü), mahsul büyüme parametrelerinin inversiyonu (biyokütle, LAI), fenolojik aşama alımı, mahsul afet izleme ve mahsul verim tahminini içermektedir (Zhang et al., 2016). Bu araştırma çeltik haritalamasına dayandığından, gözden geçiriminin bu kısmı öncelikle mahsul sınıflandırma ve tanımlama, tarım arazisi parametreleri inversiyonuna, mahsul büyüme

parametreleri inversiyonuna ve fenolojik aşama geri alımında radar uzaktan algılama tekniğinin kullanımına dayanacaktır.

Bitkilerden gelen radar geri saçılımı, mahsul kanopisinin yapısına ve altta yatan toprak durumuna duyarlı olup, radar geri saçılımı, SAR sensörü polarizasyon modları ve dalga boyları ile değişmektedir (Lopez-Sanchez et al. 2009). Farklı mahsuller farklı kanopi yapılarına, geometrik özelliklere ve dielektrik sabitlerine sahiptir. Bu nedenle, SAR görüntülerinde, özellikle farklı frekanslarda veya polarizasyonlarda elde edilen görüntülerde farklı saçılma özelliklerine sahiptirler (Zhang et al., 2016). Bununla birlikte, fenomen aynı zamanda radar uzaktan algılama ile mahsul sınıflandırması ve tanınması için teorik temeldir. Radarlar tarafından kaydedilen sinyal; kullanılan sensöre, konfigürasyonuna (frekans, polarizasyon, geliş açısı) ve gözlemlenen yüzeyin elektriksel ve fiziksel özelliklerine göre değişmektedir. Mikrodalgalarda (X banttan L bantlarına, 2,4 cm'den 30 m'ye kadar), sinyal neme ve dünya yüzeylerinin pürüzlülüğüne karşı hassastır. Şekil 2.4 radar tarafından yayılan sinyal ile bitki örtüsü ve toprak tarafından geri saçılan sinyal arasındaki etkileşim mekanizmalarının ne şekilde gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 2.4: Radar tarafından yayılan sinyal ile bitki örtüsü ve toprak tarafından geri saçılan sinyal arasındaki etkileşim mekanizmaları

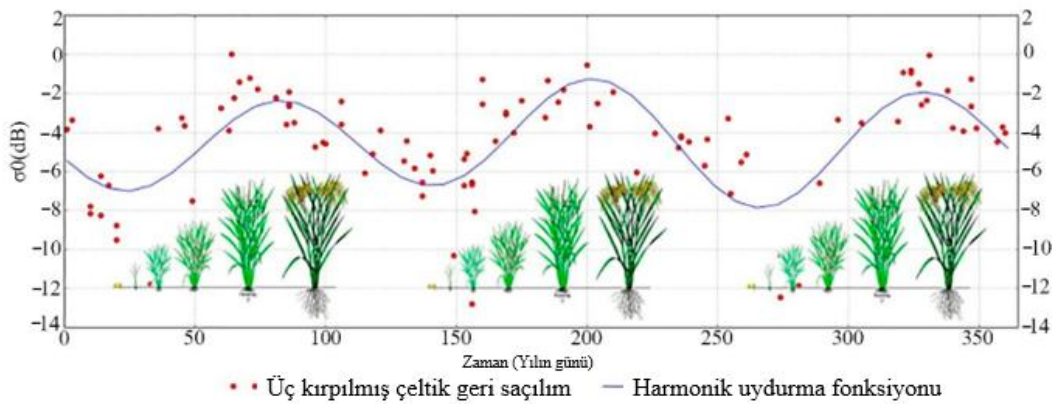
Toprağın tepkisi, bir yandan bitki örtüsünden ve diğer yandan kısmen toprakla kısmen de bitki örtüsüyle kaplı karışık yüzeylerden farklıdır (Lee and Pottier, 2009). Radar uzaktan algılama mikrodalgalarla dayandığından, uydunun türüne bağlı olarak, geri saçılım katsayıları çeşitli polarizasyonlara göre elde edilebilir. Paralel polarizasyonlar (HH, VV) ve çapraz polarizasyonlar (HV, VH) örnek olarak verilebilir. Radar anteninin genellikle EM dalganın farklı polarizasyon bileşenlerini eşzamanlı olarak alacak şekilde tasarlandığını vurgulamak önemlidir. Bu nedenle, gönderiş ve alım polarizasyonları bir çift sembolle gösterilirse, H ve V doğrusal polarizasyonlarını kullanan bir radar sistemi aşağıdaki kanallara sahip olabilmektedir: HH- yatay gönderim ve yatay alım, VV- dikey gönderim ve dikey alım, HV- yatay gönderim ve dikey alım ve VH- dikey gönderim ve yatay alım Şeklinde olacaktır.

McNairn and Brisco'ya (2004) göre, her polarizasyon bitki örtüsünü tanımlayan bir veya daha fazla parametreye erişim sağlamaktadır. Hacimsel difüzyon etkilerine (bitki örtüsünün yüksekliği ve hacmi) duyarlı olan çapraz polarizasyon, bitki örtülü tarım alanları ile orman alanlarının ayırt edilmesini

mümkün kılmaktadır (Baghdadi et al., 2001). Yüzey saçılma etkilerine karşı daha hassas olan paralel polarizasyon, çıplak toprakların net bir şekilde tanımlanmasını mümkün kılar (Liu et al., 2019). Fakat, çeşitli polarizasyonların verimlilikleri mahsul türleri arasında farklılık gösterir. Lee et al. (2001), 9 ürün türünü sınıflandırmak için C, L ve P bantları ile tam polarimetri, çift polarizasyonlu ve tek polarizasyonlu SAR verilerinin sınıflandırma verimliliğini değerlendirmiş ve tam polarimetri modun hem C hem de L bantlarında en iyi performansı gösterdiği sonucuna varmıştır.

2.1.5. Aktif uzaktan algılama teknikleri ile çeltik haritalama

Çoğu durumda yağmur mevsiminde çeltik yetiştirildiğinden, mikrodalga sensörleri çeltik alanı haritalaması için mükemmel bir görüntü kaynağı olmaya devam etmektedir. Çeltiğin büyüme sürecinde, radar geri saçılma katsayısındaki zaman serisi değişimi, çeltik alanlarını ayırt etmek için anahtar faktördür. Çeltiğin büyüme aşamasındaki geri saçılma katsayısının özelliği, beslenme ve üreme aşamasında, geri saçılmanın başlık aşamasında maksimuma ulaşana kadar sürekli artmaktadır. Çeltik fenolojisinin gelişmesiyle birlikte, saplar uzamakta yaprak alanı, bitki suyu ve biyokütle artış gösterir. Bu değişiklikler radar dalgası yansıması için kullanılabilir alanı artırarak ölçülen geri saçılmada artışa neden olmaktadır (Şekil 2.5). Yönlendirme aşamasından sonra, bitki suyu, yaprak alanı ve biyokütlenin azalmaya başlaması nedeniyle, yukarıda belirtilen saçılma etkisi azalır ve SAR geri saçılımında bir azalmaya neden olmaktadır (Zhao et al., 2021).



Şekil 2.5: Radar geri saçılımı ile çeltiğin büyüme aşamaları arasındaki ilişki (Zhao et al., 2021).

Bu özel davranışa dayanarak, iki çeltik haritalaması tanımlanabilir: Ampirik ve makine öğrenimi yöntemleri (Zhao et al., 2021). Ampirik yöntemin prensibi, çeltik büyüme döngüsü sırasında geri saçılma katsayısındaki değişime dayanan matematiksel bir formül oluşturmak, eşik, katsayı ve diğer parametreleri belirlemek ve çeltik ekili alanları parametrelere göre ortaya çıkarmak ve haritalamaktır. Bu yöntemin avantajı, fikrin nispeten basit olması ve eşiğin uzun vadeli dizinin veri çıkarma özelliklerine göre eşiği belirledikten sonra analiz ve ekstraksiyon için geliştirilebilmesidir. Makine öğrenimi yöntemi, geri saçılma katsayısının özdeğerlerini çıkarır ve bu değerleri çeltik haritalaması için sınıflandırıcıya girer. Sınıflandırma modelleri temel olarak geleneksel makine öğrenimi modellerini ve derin öğrenme modellerini içermektedir. Bu yöntemin avantajı, çeltik haritalamasının makine öğrenimi yoluyla gerçekleştirilmesi, özellik ekstraksiyonunun büyük miktarda veri kullanılarak gerçekleştirilmesi ve genel doğruluğun iyileştirilmesidir.

2.2. Tarım Arazileri Uygunluk Analizi

2.2.1. Genel bakış

Arazi; toprakları, iklimi, bitki örtüsünü, topografyayı ve diğer doğal kaynakları kapsayan tarım ve diğer kırsal arazi kullanımlarının temelidir. "Arazi kaynakları" terimi, yönetim için önemli olan yüzey ve yüzeye yakın tatlı su kaynakları da dahil olmak üzere doğal bir arazi biriminin fiziksel, biyotik, çevresel, altyapı ve sosyo-ekonomik bileşenlerini kapsamaktadır. Arazi kaynaklarının bileşenleri arasındaki etkileşim, tarımsal ekosistem verimliliğini ve sürdürülebilirliğini belirlemek için hayati öneme sahiptir (FAO, 2007).

Arazi uygunluğu, belirli bir arazi türünün tanımlanmış bir kullanım için uygunluğudur. Değerlendirmede arazi mevcut haliyle veya iyileştirmelerden sonra düşünülebilmektedir. Arazi uygunluk sınıflandırması süreci, belirli arazi alanlarının tanımlanmış kullanımlara uygunlukları açısından değerlendirilmesi ve gruplandırılmasıdır (FAO, 1976). Bu nedenle, Tarımsal Arazi Uygunluk Analizi (Agriculture Land Suitability Analysis-ALSA), nihai kararlara yansıyan mahsul gereksinimi ve arazi özelliklerinin bir fonksiyonu olarak düşünülebilir (Prakash, 2003). Fischer and Sun'a göre (2001), aşağıdaki temel araştırma sorularını

değerlendirmeye çalışan bir yöntemdir: Gelecekteki nüfusun gıda ve tahıl taleplerini karşılamak üzere tarımsal üretim için yeterli arazi olacak mı? Nerede tarımsal arazi sıkıntısı var ve nerede tarımsal genişleme için yer var? Sulamadan ne gibi katkılar beklenebilir? Orman ekosistemleri altındaki arazi potansiyel olarak iyi tarım arazisi midir? Tarımsal üretimin önündeki başlıca fiziksel kısıtlar nelerdir? Küresel ısınma tarımsal potansiyelleri etkileyecek mi? Ayrıca, tarımsal üretimin önündeki sosyo-ekonomik kısıtlar nelerdir? Bu nedenle, bu soruları yanıtlamak için çeşitli disiplinleri göz önünde bulundurmak gerekmektedir. ALSA, toprak bilimi, meteoroloji, sosyal bilimler, ekonomi, yönetim ve yerel bilgi gibi farklı uzmanlıklar gerektiren farklı akımlardan girdiler gerektiren disiplinler arası bir görevdir (Rodenburg et al., 2014). Malczewski'ye (2004) göre ALSA, mevcut ve gelecekteki belirli arazi kullanımlarının konumlandırılması için mekânsal olarak en uygun modelin belirlenmesi amacıyla kullanıldığından, tanımlanmış bir faaliyetin belirli gereksinimlerinin, tercihlerinin veya tahmin edicilerinin bir fonksiyonu olarak düşünülebilir.

Bir arazi uygunluk analizinin çıktısı, her bir arazi kullanımı için bir tane olmak üzere, her bir arazi parselinin hangi uygunluk seviyesinde olduğunu gösteren bir dizi haritadır. Bu çıktı gereksinimi doğrudan herhangi bir yöntemin iki gerekli bileşenine yol açmaktadır: (1) homojen arazi parsellerinin belirlenmesi için bir prosedür ve (2) bu parsellerin her bir arazi kullanımı için uygunluk açısından derecelendirilmesi için bir prosedür (Hopkins, 2007). Bu nedenle, ALSA yöntemlerinin uygulanmasındaki zorluk, bir yandan homojen olan arazi parsellerini pragmatik ve doğru bir şekilde tanımlayabilmek, diğer yandan da bu parselleri derecelendirebilmektir.

ALSA süreci genel olarak ordo, sınıf, alt sınıf ve birim bazında sınıflandırma ile FAO yönergelerine dayanmaktadır (FAO, 1976). Arazi uygunluk ordosu uygun (S) ve uygun değil (N) sınıflarına ayrılmıştır. Uygunluk sınıfı grubu Yüksek Derecede Uygun (S1), Orta Derecede Uygun (S2) ve Marjinal olarak Uygun (S3), Şimdilik Uygun Değil (N1), Kalıcı olarak Uygun Değil (N2) olarak toplanmıştır (FAO, 1976, 2007). Bu bağlamda uygunluk iki şekilde tanımlanabilir. Bunlardan ilki, belirli bir alanın mevcut ya da güncel fiziki coğrafyasının niteliği ile ilgilidir. İkincisi, bir veya daha fazla arazi niteliğinin değiştirilmesi yoluyla bir alanın belirli

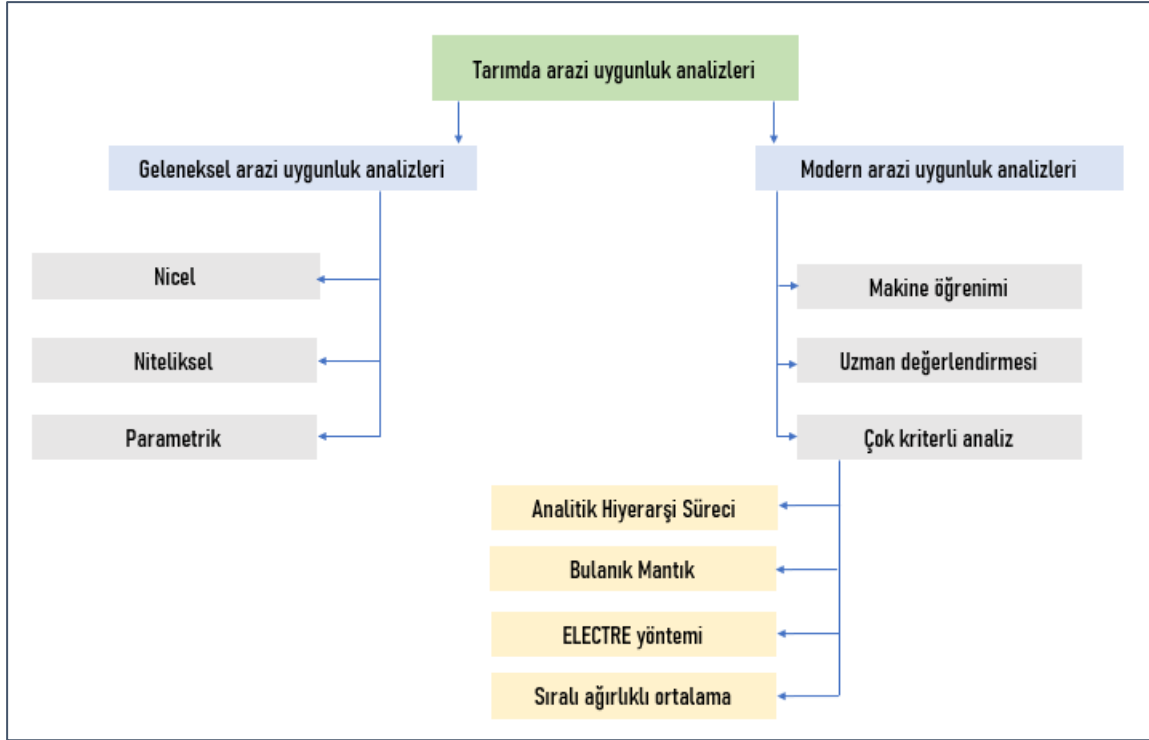
kullanımlar için potansiyel uygunluğudur (örneğin drenaj yoluyla toprağın suya doygunluğunun azaltılması veya teraslama yoluyla aşırı eğimin azaltılması) (Wang, et al., 1990). Bu sınıflandırma, birbiriyle çelişen hedeflerin dikkate alınması, tarım için arazi kaynaklarının başarılı ve sürdürülebilir bir şekilde optimize edilmesi gerektiğinde stratejik arazi kullanım kararlarının alınmasında yol gösterici olmaktadır (Nijbroek and Andelman, 2015).

2.2.2. ALSA'nın uygulanması

Karar verme sürecine dahil olan birçok faktör nedeniyle, ALSA çok faktörlü bir değerlendirme süreci olarak tanımlanabilir. Mendoza'ya (2000) göre, uygunluk analizinin en büyük zorluğu, farklı faktörlerin hem bireysel hem de kümülatif etkilerini ölçmektir. Bu nedenle, coğrafi bilgi sistemi, uzaktan algılama, karar destek sistemi, makine öğrenimi ve web tabanlı uygulamalardaki son teknolojik gelişmeler, nerede tarım yapılacağı ve hangi ürünün en uygun olduğu konusunda tarıma daha güçlü, kesin ve sürdürülebilir müdahalede bulunulmasına olanak sağlamıştır (Akpoti et al., 2019).

2.2.3. Tarımda arazi uygunluk analizleri

Çok çeşitli alanlardaki ALSA yöntemleri Şekil 2.6'da gösterildiği gibi geleneksel veya modern sistemler olarak sınıflandırılabilir ve çoğunlukla nitel ve/veya nicel değerlendirmelere dayanmaktadır (Akpoti et al., 2019).



Şekil 2.6: Tarımda arazi uygunluk analizleri

2.2.3.1. Geleneksel sistemler

ALSA'nın geleneksel sistemlerinde, mahsul seçenekleri toprağın biyofiziksel özelliklerine dayanmaktadır. Geleneksel sistemde nitel, nicel ve parametrik yöntemler bulunmaktadır. Nitel sistemler, kategorilerde tanımlanan tanısal faktörlere (son derece uygun, orta derecede uygun veya uygun olmayan) dayanırken, nicel sistemler matematiksel formülasyonlara dayanarak indekslenmiştir (Akpoti et al., 2019). Parametrik yaklaşımlar, parametreleri çarpan sistemi, parametreleri toplama sistemi ve arazi kalitesi ve arazi özellikleri ile mahsul gereksinimleri arasındaki eşleştirme sistemini kullanmaktadır. Storie'ye (1978) göre, dört veya beş faktör, çarpma sistemlerinde kullanılacak iyi bir ortalama olarak görünmektedir. Yöntemler genellikle mahsul gereksinimlerini takip etmekte ve tamamen ampirik uzman yargılarına ve gerçek nicel sistemler olacak standart matematiksel modellere dayanmaktadır (Sys et al., 1991).

Günümüzde en çok kullanılan geleneksel yöntem parametrik yöntemdir. Bu tür yöntemler genellikle nitel ve nicel yöntemlerin bir karışımı olup çeşitli özelliklerin sayısal olarak çıkarılan etkilerinden türetilirler (Rodcha et al., 2019).

Parametrik yönteme örnek olarak Storie Endeksi derecelendirmesi verilebilir (Denklem 2.1).

$$I = A \times B \times C \times X \quad (2.1)$$

Denklem 2.1’de I uygunluk indeksidir, A ilk faktörün derecelendirme değeridir (toprak derinliği ve tekstürü olabilir), B ikinci faktörün derecelendirme değeridir (toprak geçirgenliği olabilir) ve C, ve X diğer faktörler için derecelendirme değerleridir.

Bu yaklaşımın avantajı, değerlendirmenin kolayca gerçekleştirilebilmesi ve sadece birkaç kategoriden oluşmasıdır. Dezavantajı ise, eğer herhangi bir kategoride sıfır değerine sahipsek, uygun olarak hesaplanmayacaktır (Story, 1978).

Genel olarak, geleneksel ALSA yöntemlerinin bilinen dezavantajlarından biri, bir yandan aynı anda birden fazla faktörle başa çıkamamaları ve diğer yandan faktörlerin ikili karşılaştırmasını çalıştırmanın imkansızlığıdır.

2.2.3.2. Modern sistemler

Modern ALSA çoğunlukla CBS, bilgisayar ve makine öğrenimi algoritmalarını birleştirmektedir. Modern tarım arazisi uygunluk analizi yöntemleri, kriterlerin ağırlıklandırılmasının nasıl yapıldığına veya kriterlerin nasıl işlendiğine bağlı olarak üç geniş sınıfa ayrılabilir. Bunlar: (i) Makine öğrenimi, (ii) çok kriterli değerlendirme (Multi Criteria Evaluation-MCE) yöntemleri ve (iii) Uzman yargılama yöntemleri. Bu çalışmada çeltik arazi uygunluk analizi için uygulanan yöntem MCE ve makine öğrenmesi yöntemlerine dayandığından bu yöntemlere önem verilecektir.

2.2.3.2.1. Çok kriterli değerlendirme (MCE) yöntemi

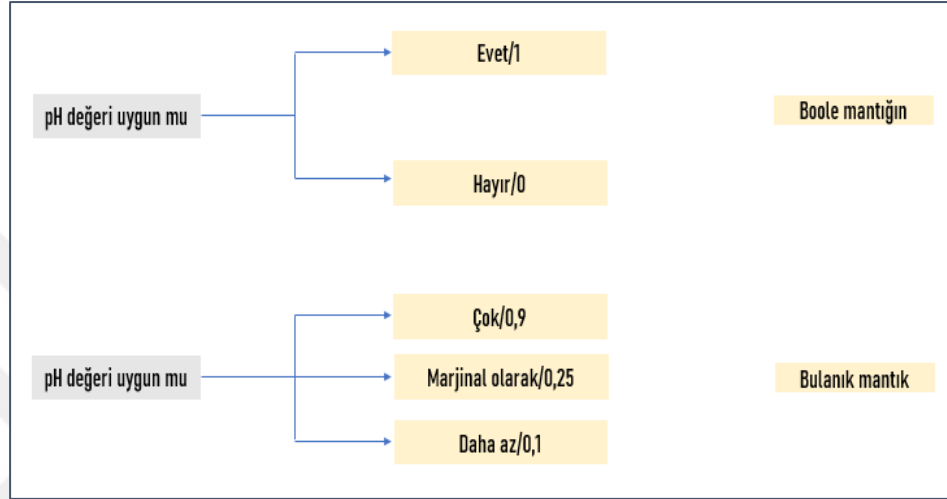
MCE, birbiriyle çelişen birden fazla kriterin yönetim planlama sürecine resmi olarak dahil edilmesini sağlayan güncel bir eğilimdir (Malczewski, 2006). Mekânsal karar problemleri tipik olarak çok çeşitli uygulanabilir alternatifler ve çoklu, çelişkili ve ölçülemez değerlendirme kriterleri içerdiğinden, CBS ve MCE

kombinasyonu, arazinin belirli bir alan için uygunluğunu değerlendirmenin mükemmel bir yolu haline gelmiştir. Literatürde arazi uygunluğunun değerlendirilmesinde en çok kullanılan MCE yöntemleri şunlardır: (i) Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process -AHP); (ii) Sıralı Ağırlıklı Ortalama (Ordered Weighted Averaging-OWA); ve (iii) Bulanık Mantık (Fuzzy Logic).

AHP, Saaty (2001) tarafından önerilen, karmaşık bir görevi ikili karşılaştırma matrisi aracılığıyla kriter çiftlerine ayırıştıran ve her seferinde iki kriterin birbiriyle karşılaştırıldığı bir MCE yöntemidir. Romano et al. (2015) bildirdiğine göre, bu CBS ortamında iki farklı şekilde uygulanabilir. İlk olarak, uygunluk haritası katmanlarıyla ilişkili ağırlıklar türetilir ve bunlar daha sonra doğrusal eklemeli kombinasyon yöntemlerine benzer şekilde öznitelik haritası katmanlarıyla birleştirilebilir. Bu yaklaşım, alternatiflerin ikili olarak karşılaştırılmasının mümkün olmadığı durumlarda, raster veri modeli aracılığıyla temsil edilen çok sayıda alternatifi içeren bir görev için özellikle önemlidir (Zolekar and Bhagat, 2015). İkinci olarak, AHP prensibi alternatifler seviyesine uygulanabilir ancak nispeten az sayıda alternatif değerlendirilebilir (Banai,1993). AHP, tarım ve arazi kullanım planlaması alanında yaygın olarak kullanılmış, çoklu faktörlerin ağırlıklarını sistematik ve mantıksal olarak belirlemek için etkili ve üstün bir yöntem olmasına rağmen, bazı araştırmacılar yöntemin teorik işlevlerini sorgulamaktadır (Barzilai, 1998). Bu sorular temel olarak orijinal veri setinin tutarlılığı, yanlış veri analizi prosedürü ve nihai kararlarda belirsizliklere yol açan kriterlerin seçimi ile ilgilidir (Zoccali et al., 2017). AHP modelinde, faktörlerin ikili karşılaştırması uzman yargılarına dayandığından, ağırlık atamasındaki kişisel tercihler ve belirsizlikler nihai kararı etkileyebilir. Bu nedenle, temel dezavantaj, incelenen çeşitli faktörler arasındaki karşılıklı ilişkileri göz ardı edebilecek uzman görüşündeki öznellik olmaya devam etmektedir.

AHP'de ağırlık atamasını iyileştirmek için yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri, bulanık yöntemleri AHP tekniklerinin kullanımı ile birleştirmektir (Deng et al.,2014). ALSA'daki sorun yüksek derecede belirsizlikle ilişkili olduğundan, genellikle bulanık bir modelleme görevi olarak kabul edilmektedir (Tang et al., 1992). Bulanık terimi, net olmayan veya belirsiz olan şeyleri ifade etmektedir. Gerçek dünyada birçok kez durumun doğru mu yanlış mı

olduğunu belirleyemediğimiz bir durumla karşılaşırız, bulanık mantıkları akıl yürütme için çok değerli bir esneklik sağlamaktadır (Şekil 2.7). Bulanık yöntem, her bir arazi kalitesinin ürün performansı üzerindeki etkisi için açık bir ağırlık kullanmaktadır. Bu nedenle, bulanık yöntem boole, AHP ve parametrik yöntemler arasındaki boşluğu doldurmak için kullanılabilecek sağlam bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir.



Şekil 2.7: Bulanık mantık ve boolean yaklaşımları arasındaki fark

2.2.3.2.2. ALSA'da makine öğrenimi yöntemleri

Son yıllarda, bilgisayarların gücünün artması ve büyük çevresel kaynakların kullanılabilirliği çevre, tarım, ekoloji ve iklim modelleme yöntemlerini daha kolay ve verimli hale getirmiştir. Makine öğrenimi, kabul edilebilir bir aralıkta bir çıktı değerini tahmin etmek için istatistiksel analiz kullanarak girdi verilerinin analitik modelleme sürecini otomatikleştiren bir veri analizi yöntemidir. Bu yaklaşım aynı zamanda yapay zekâ (Artificial intelligence -AI) olarak da bilinmektedir. AI yöntemleri aracılığıyla MCE kullanımı, ALSA'nın geleceği olarak kabul edilmektedir. AI, karar verme bağlamında karmaşık sistemlerin modellenmesine ve tanımlanmasına yardımcı olabilecek modern hesaplama teknikleridir (Akpoti et al., 2019). Literatürde, ALSA için makine öğrenimini kullanan yöntemler ikiye ayrılabilir. Makine öğrenmesi algoritmalarını eğitmek ve doğrulamak için parametrik veya diğer ALSA yöntemleriyle geliştirilen arazi uygunluk sınıfları örneklerini kullanan yöntemler (Taghizadeh-Mehrjardi et al., 2020) ve Maksimum

Entropi (Maximum Entropy-MaxEnt) gibi makine öğrenmesi algoritmalarını eğitmek için yalnızca varlık verilerini (mahsul varlığı) kullanan yöntemler (Akpoti et al., 2019, 2021). Bu iki yöntem için çeşitli değişkenler kullanılmaktadır. İlk metodolojinin çıktıları, eğitim verilerine dayalı olarak arazi uygunluk sınıflarını gösteren bir sınıflandırma iken, ikincisinin çıktıları, her pikseldeki çevre faktörünün söz konusu türler için uygun olma olasılıklarının mekânsal dağılımıdır.

MaxEnt algoritmasına dayalı ALSA, çiftçilerin en iyi yetiştirme koşullarına sahip oldukları alanlarda ürün yetiştirdikleri varsayımına dayanmaktadır. Bu metodoloji, tür dağılımı modelleme yaklaşımı ile aynı mantığı izlemektedir. ENM, çevresel verileri kullanarak bir türün coğrafi alan ve zaman içindeki dağılımını tahmin etmek için bilgisayar algoritmaları kullanmaktadır. Çevresel veriler çoğunlukla iklim verileridir (örneğin sıcaklık, yağış), ancak toprak tipi, su derinliği ve arazi örtüsü gibi diğer değişkenleri içerebilmektedir.

2.2.4. ALSA'da kullanılan kriterlere örnek

Genel olarak, ALSA'da kullanılan kriterler büyük ölçüde araştırmanın amacına ve benimsenen metodolojiye bağlıdır. Ancak bu kriterler dört grupta toplanabilmektedir (Tablo 2.3).

İklimsel kriterler	Topografik kriterler	Edafik kriterler	Sosyo-ekonomik kriterler
Yağış, sıcaklık vb.	Yükseklik, eğim, Topografik Islaklık İndeksi vb.	OM, KDK, Kil, Silt, pH, N, Na, vb.	Nüfus yoğunluğu, pazarlardan uzaklık, yol şebekesine uzaklık, su kütlesine uzaklık vb.

Tablo 2.3: ALSA'da kullanılan bazı kriterleri sunmaktadır

3. LİTERATÜR TARAMASI

Tezin bu bölümü, literatürde bulunan metodolojileri, elde edilen sonuçları ve araştırma sınırlarını sunmaktadır. Başka bir deyişle, uzaktan algılama teknikleri kullanılarak çeltik haritalamasının ve arazi uygunluk değerlendirmesi sunulmaktadır. Analiz, metodolojik yaklaşımımızı tartışabilmemizi sağlamaktadır.

3.1. Çeltik Tarlalarının Haritalanması ve İzlenmesinde Uzaktan Algılamanın Kullanımı

Çeltik tarlalarının haritalanması, sahip olduğu önem nedeniyle araştırmacıların her zaman ilgi odağında yer almıştır. Optik uzaktan algılama, mikrodalga uzaktan algılama ve optik ve mikrodalga uzaktan algılama tabanlı entegrasyon dahil olmak üzere farklı veri kaynaklarının yanı sıra çeşitli algoritmalar kullanılarak çeltik haritalama konusunda birçok çalışma yürütülmüştür (Dong and Xiao, 2016).

Genel olarak, literatürde, çeltik arazilerini haritalama teknikleri her zaman mahsulün özelliklerine dayanmıştır. Bu özellikler çeltiğin biyofiziksel özellikleri ve büyüme evreleri (Chang et al., 2005), çeltik tarlasının spektral özellikleri (Arafat et al., 2013; Wang et al., 2012; Song et al., 2011), çeltik tarlasının polarimetri özellikleri (Inoue et al., 2002; Suga and Konishi, 2008), çeltik tarlalarının şekil ve boyutu özellikleridir (Kim and Yeom 2012, 2014; Shiu et al., 2012).

Bu bölümde, çeltik haritalaması için geliştirilen yöntemler ve uzaktan algılama türleri analiz edilecektir. Bu tarama bizi güney Togo'daki çeltik tarlalarını haritalamak için kullanılacak metodolojileri açıklamaya yönlendirecektir.

3.1.1. Veri kaynaklarına göre çeltik haritalama metodolojisi

Dünyanın farklı bölgelerindeki çeltik alanlarını haritalamak için uzaktan algılamaya dayalı çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Optik ve mikrodalga uzaktan algılama sistemleri, çeltik ekim alanlarının haritalanması için pratik araçlar sağlamaktadır.

3.1.1.1. Optik uzaktan algılama tabanlı haritalama yöntemleri

Optik uzaktan algılama sensörleri, dünya çapında çeltik alanlarını haritalamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünya yüzeyini 0,4 ila 2,5 µm spektral aralıkta görüntüleme yetenekleri nedeniyle, arazi kullanımı ve arazi örtüsünü ayırt etmek ve ekin alanlarını tespit etmekte faydalanılmaktadır.

Önceki bölümde açıklandığı gibi uydu sensörleri; kırmızı, mavi ve kızılötesi spektral bantlara göre hesaplanan bitki örtüsü indekslerinin zaman serilerini türetmek için kullanılabilecek ekili arazi üzerinde çok zamansal ve çok spektral yansıma verileri elde etme potansiyeline sahiptir.

1980'lerden 1990'lara kadar, Landsat MSS (Multispectral Scanner) /TM (Thematic Mapper) uydu görüntüleri çeltik alanlarının haritalanmasında temel veri kaynağı ve spektral yansımalar ise ana girdi olarak değerlendirilmiştir. Alanların tespitinde denetimli ve denetimsiz sınıflandırma yöntemleri yaygın şekilde kullanılmıştır (Dong and Xiao, 2016).

McCloy et al. (1987), Yeni Güney Galler'in güneybatısında önemli bir çeltik yetiştirme bölgesi olan Murrumbidgee Sulama Alanındaki çeltik alanlarını izlemek için özel bir sistem geliştirmek üzere 2 yıllık Landsat MSS görüntülerini kullanmışlardır. İki farklı görüntü sınıflandırma yaklaşımı değerlendirmişlerdir. İlk yaklaşım, bir dizi spektral sınıf imzası oluşturmak için bir geçiş aracı algoritması kullanarak verileri kümelemişler ve daha sonra bu spektral sınıfları Maksimum Olasılık Sınıflandırmasında (Maximum Likelihood Classification-MLC) kullanmışlardır. İkinci yaklaşım, Landsat MSS yanıt alanında bir çeltik yanıt alanı tanımlamak için vektör sınıflandırıcıyı kullanmışlardır. Çalışmada elde edilen doğruluk% 87'den fazladır. Araştırmacılar, bulut örtüsü nedeniyle çoğu yıl monitörü çalıştırmak için yeterli görüntü olması gerektiğini, ancak 2 yılın prosedürün güvenilirliğini değerlendirmek için yetersiz olduğu sonucuna varmışlardır.

Taylor et al. (1987), Hindistan'a özgü farklı çeltik ekim desenleri için uzaktan algılanan verilerin kullanımına ilişkin bir değerlendirme yapmaya çalışmışlardır. Çalışmada Landsat MSS'nin yanlış renk kompozitleri (False Colour Composites) şeklinde 80 m uzamsal çözünürlük verisini kullanılmışlardır. Çeltik araştırmasında

elde edilen doğruluk% 90'dan fazladır. Araştırmacılar, veri toplama için kritik hasat zamanı pencerelerinin öneminden ve ayrıca çalışmada komisyon hatalarının iki kaynağından bahsedilmişlerdir. Birincisi, Landsat MSS'nin çözünürlük sınırlarının altında kalan küçük köyleri ve diğer antropojenik özellikleri içeren alanların dahil edilmesinden ve ikinci hata kaynağı ise, çeltik dışındaki sulanan mahsullerin büyüyen çeltik ile spektral olarak karıştırılmasından kaynaklanmaktadır.

Landsat TM'den üç görüntü kullanarak, Tennakoon et al. (1992), Tayland'daki ekili alanı ve çeltik verimini tahmin etmişlerdir. Çeltik tarlalarını tanımlamak için yöntem olarak bant kombinasyonunu kullanmışlardır. MLC yaklaşımını kullanırken, kırmızı, yeşil ve mavinin yanlış renk bileşiminin çeltiğin olgunluk aşamasında tanımlanması ve alan tahmini için uygun bir bant kombinasyonu olduğunu bulmuşlardır. Bununla birlikte, kırmızı, yeşil ve mavinin yanlış renk bileşimi çeltik mahsulünün erken aşamasında daha iyi bilgi sağlamaktadır. Araştırmacılara göre, genel olarak bulut örtüsü, etkin bir şekilde kullanılabilecek uydu görüntülerinin elde edilmesinde sınırlayıcı bir faktör olarak bulunmuştur. Sonuçların doğruluk oranı %90'dır.

Fang et al. (1998), Çin'de NOAA/AVHRR ve Landsat TM verilerini kullanarak pirinç alanlarını hesaplamak için bir metodoloji geliştirmişlerdir. İlk olarak, Landsat TM verilerindeki çeltik piksellerinin dijital sayısına göre, çeltik alanlarını diğer bitki örtülerinden ayırt etmişler ve böylece temel yılın çeltik alanlarını bulmuşlardır. İkinci olarak, farklı yıllardan elde edilen NOAA AVHRR verilerini kullanarak temel yıl ve tahmin yılı dahil olmak üzere farklı yıllara ait çeltik piksellerini çıkarmışlar ve son olarak doğrusal istatistik tekniği ile tahmin yılına ait çeltik alanlarını belirlemişlerdir. Bu metodolojiyi kullanarak, doğruluğu %84.5 olarak belirlemişlerdir.

Pan et al. (2010), bir çeltik ekim alanındaki farklı arazi kullanım türlerini ayırt etme perspektifinde Landsat TM'den çok zamanlı NDXI verilerini üretmişlerdir. NDXI; NDVI, Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (Normalized Difference Water Index -NDWI) ve Normalleştirilmiş Fark Toprak İndeksinin (Normalized Difference Soil Index-NDSI) bir kombinasyonudur. Araştırmada, her pikseli birkaç yineleme yoluyla bir kümeye atamak için özellik uzayında Öklid mesafesini

kullanan Yinelemeli Kendi Kendini Düzenleyen Veri Analizi Tekniği Algoritması (Iterative Self-Organizing Data-ISODATA) kullanılmıştır. Metodoloji, %61'in üzerinde bir doğrulukla çeltik tespitini mümkün kılmıştır. Araştırmacılara göre, bu yaklaşımın çok zamanlı MODIS görüntülerine daha fazla uygulanabilir olması beklenmektedir.

Nguyen et al. (2012), Mekong deltasının sulanan çeltik hasat modellerindeki değişkenliği tanımlamak ve haritalamak için optik hiper-zamansal uydu SPOT VGT verilerini (1998-2008) kullanmışlardır. Metodoloji olarak, 10 günlük SPOT NDVI görüntü serilerinin ISODATA sınıflandırmasından elde edilen normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) sınıflarının imza ayrılabilirliğini değerlendirmek için sapma istatistikleri kullanılmışlardır. Çalışma, günlük olarak alınan optik hiper-zamansal görüntülerin, bulutlu koşullara rağmen çok çeşitli sulanan çeltik ekim desenlerini ve mahsul takvimlerini yüksek bir doğruluk düzeyinde (%94) ayırt etme ve haritalama potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir.

3.1.1.2. Mikrodalga uzaktan algılama tabanlı haritalama yöntemleri

Mikrodalga uzaktan algılamanın avantajlarından biri, yılın herhangi bir zamanında ve bulut örtüsü, yağmur, kar ve güneş ışığı gibi her türlü hava koşulunda kullanılabilmesidir. Genel olarak, çeltik yetiştirme alanlarında yüksek yağış hakim olup, görüntü alımını engelleyen en önemli unsur bulut örtüsüdür. Sonuç olarak, 1990'lardan bu yana, mikrodalga uzaktan algılama, çeltiğin haritalama ve tespit etme girişimlerinde iyi sonuçlar veren bir araç olmuştur. En çok uygulanan aktif sensörler şunlardır: ERS-1 ve 2, RADARSAT-1 ve 2, ENVISAT ASAR ve daha sonra Sentinel-1 vb. Genel olarak, büyüme mevsimi boyunca radar geri saçılımının zamansal değişimi, çeltik alanlarının tanımlanmasında kilit faktördür.

Kurosu et al. (1997), ERS-1 C-bant SAR'dan elde edilen çok zamanlı verileri kullanarak, Japonya'daki çeltik tarlalarının belirlenmesi ve arazi kullanım sınıflandırması için uzay kaynaklı SAR verilerinin kullanımına yönelik bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Sınıflandırmada, temel bileşen görüntülerine uygulanan MLC tekniğine dayalı denetimli bir yöntem kullanmışlardır. Araştırmacılara göre,

çeltik için eğitim alanındaki piksellerin %90'ı doğru sınıflandırılırken, geri kazanılmış arazi dışındaki test alanları için sınıflandırma doğruluğu sadece %46 olmuştur. Birleştirme işleminden sonraki sonuçlar Landsat TM verileri kullanılarak elde edilenlerle neredeyse aynı olduğundan, çeltik tarlalarının belirlenmesi ve büyümelerinin izlenmesi için birleştirme ile çok zamanlı SAR yaklaşımının kullanılmasının potansiyel değerini ortaya koymaktadır.

Shao et al. (2001), 1996 ve 1997 yıllarında Çin'de elde edilen çok zamanlı RADARSAT verilerini kullanarak çeltiğin geri saçılma davranışını zamanın bir fonksiyonu olarak incelemişlerdir. Çalışma, 80 gün ile 120 gün arasında değişen farklı yaşam sürelerine sahip çeltik türlerinin ortaya çıkarılmasını sağlamıştır. Çeltik sınıflandırmasının doğruluğu %91 olarak bulunmuş ve çok zamanlı RADARSAT verilerinin çeltik haritalaması yapabildiğine dair güven sağlanmıştır.

2014 yılında Sentinel-1 SAR görüntülerinin ortaya çıkmasıyla birlikte, çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Sentinel-1 (A ve B) görüntüleri serbest, iyi uzamsal çözünürlük (10m) ve iyi zamansal çözünürlükte (6 gün) olma özelliğine sahiptir.

Lasko et al. (2018), rastgele orman algoritması ve Sentinel-1 SAR görüntülerinin zaman serisini kullanarak Hanoi'deki çift ve tek çeltiklerin haritasını 10 m ve 20 m çözünürlükte sadece VV, sadece VH ve her iki polarizasyonu kullanarak ortaya çıkarmışlardır. Sonuç hem VV hem de VH için 20 m çözünürlüğe sahip verilerin çeltik arazi örtüsünü olduğundan fazla tahmin ettiğini göstermiştir.

Nguyen et al. (2017), Avrupa çeltik ekim alanlarının haritalanması üzerine yaptıkları çalışmada, S1 geri saçılım zaman serilerini kullanarak kıta ölçeğinde çeltik ekim alanlarının haritalanması için mevcut fenoloji tabanlı bir sınıflandırma yönteminin uygulanabilirliğini değerlendirmişlerdir. Girdi verilerini çeltik ve çeltik olmayan alanlar olarak sınıflandırmak için araştırmacılar, S1 VH geri saçılım zaman serilerinden elde edilen fenolojik parametreleri bilgi tabanlı bir karar kuralı sınıflandırıcısına girdi olarak kullanmışlardır. Sekiz çalışma alanının tamamı için %70'in üzerinde bir genel doğruluk elde etmişlerdir. Araştırmacılara göre, kıta ölçeğinde pirinç mahsulü izleme çerçevesi için S1 VH verilerini kullanmak doğru bir yaklaşımdır.

Clauss et al. (2018), çeltik ekim alanlarının doğru ve zamanında haritalanması için S1 verilerinin potansiyelini gösteren ilk yöntemlerden birini geliştirmişlerdir. Araştırmalarında, benekli olması sağlam olan ve işlenecek veri miktarını azaltan uzamsal olarak ortalama geri saçılma zaman serileri oluşturmak için süper piksel segmentasyonunu kullanmışlardır. Bu yöntem, dünyanın farklı çeltik yetiştirme bölgelerindeki altı çalışma alanına uygulanmış ve ortalama 0,83 genel doğruluk elde edilmiştir. Araştırmacılara göre, çeltik haritalama yöntemini daha geniş alanlara uygulamadan önce, maliyet-doğruluk karşılaştırması konusunda dikkatli bir değerlendirme yapılmalıdır.

Dirgahayu et al. (2019), Batı Java'da kullanılan çeltik mahsulünün büyüme fenolojisine dayalı olarak S1 SAR'ın çeltik tarlasını tespit etme kabiliyetini araştırmışlardır. Çalışma sınıflandırma zaman serisi algoritması ile yapılmıştır. Sonuçlar, çift polarizasyondaki (HV, VV) S1 verilerinin ve Polarizasyon İndeksinin ($PI = 1 - NDPI$) çeltik tarlasını tespit etmek için kullanılabileceğini ortaya koymuştur. En iyi genel doğruluk Min, Max ve Ortalama PI %87, Ortalama VH polarizasyonu %78, Standart Sapma VH polarizasyonu %76 ve Aralık polarizasyonu VH %74'ten elde edilmiştir.

Dineshkumar et al. (2019), Cauvery delta bölgesi boyunca yer alan Karur ilçesi üzerinde S1 verilerini kullanarak Google Earth Engine'de (GEE) çeltik haritalama ve izleme gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlara göre, VV ve VH polarizasyonları ekim aşamasında düşük geri saçılma değerleri sergilemektedir (-15,19 db ve -24 db). Bununla birlikte, maksimum geri saçılma VV ve VH polarizasyonunun en yüksek vejetasyon aşamasında yaşanmakta (-7,42 ve -16,9 db) ve olgunluk aşamasına ulaştıktan sonra geri saçılma değerlerinde bir düşüş görülmektedir. Araştırmacılara göre, VH polarizasyonu, salkım başlama aşamasından erken sağıma aşamasına kadar geri saçılım katsayılarında sürekli artan bir eğilim sağlamaktadır. Bununla birlikte, VV polarizasyonu, çiçeklenme aşamasında geri saçılım katsayılarında erken bir tepe noktası sağlamaktadır.

Bazzi et al. (2019), Güney Fransa'daki Camargue bölgesi üzerinde S1 zaman serilerini kullanarak çeltik mahsullerini haritalamak için etkili bir yöntem önermişlerdir. Farklı mahsul türlerini içeren 832 parsel üzerinde SAR geri saçılma

katsayısının zamansal davranışı analizi yoluyla çeltik ekili alanlar tanımlanmıştır. VV/VH zaman serisinin Gauss profilinden, VV/VH zaman serisinin varyansından ve VH zaman serisinin doğrusal regresyonunun eğiminden türetilen metrikleri kullanmışlardır. Çeltik arazileri karar ağacı ve RF algoritması ile haritalanmıştır. Basit bir karar ağacı kullanılarak elde edilen genel doğruluk %96,3'e ulaşırken, RF sınıflandırıcı kullanılarak %96,6'lık bir genel doğruluk elde edilmiştir. Araştırmacılara göre, bu yaklaşım çeltik alanlarının haritalanması için basit ancak hassas ve güçlü bir araç sağlamaktadır.

Çeşitli araştırmalar, C-bandı ve polarize oranının (HH/VV) çeltik ekili arazilerin haritalanması ve izlenmesi için yararlı bir parametre olduğunu göstermiştir. Wu et al. (2010), HH/VV oranının çeltik tarlalarını muz tarlalarından, ormandan ve sudan ayırmak için en iyi yöntem olduğunu bildirmişlerdir. Ancak Schmitt and Brisco (2013), HH/VV kombinasyonunun HH/HV ve VV/VH kombinasyonundan önemli ölçüde daha düşük bir doğruluk ürettiğini ortaya koymuşlardır. Çapraz polarize verilerin geri saçılım katsayıları çeltik tarlalarının gelişimi ile önemli bir korelasyona sahiptir. Bu nedenle, gelişmiş uzay-zamansal çözünürlük ve farklı polarizasyonlarda (VV, VH) veri elde etme yeteneği nedeniyle, S1'in çeltik izleme ve haritalama uygulamalarının doğruluğunu artırması beklenmektedir.

3.1.1.3. Optik ve mikrodalga uzaktan algılama tabanlı haritalama yöntemlerinin entegrasyonu

Optik ve mikrodalga uzaktan algılama tabanlı yöntemlerin bağımsız kullanımına ek olarak, çeltik alanlarının haritalandırılması için her iki yöntemin bir araya getirilmesi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Okamoto and Kawashima (1999), Endonezya'daki çeltik alanını tahmin etmek için yağışlı mevsimde elde edilen Landsat TM ve JERS1 SAR verilerini kullanmışlardır. Tropikal bölgelerde çeltik ekili alanların tahmin edilmesi için ekim yoğunluğunun normal dağılımını kullanmışlardır. Endonezya'daki çeltik alanlarının Endonezya hükümeti tarafından beyan edilenden daha küçük olduğunu ortaya koymuşlardır.

Haldar and Patnaik (2010), mikrodalga ve optik verileri kullanarak Rabi çeltik alanının erken tahmini için bir fizibilite çalışması gerçekleştirmişlerdir. İlk olarak, SAR verileri ile farklı arazi örtüsü sınıflarının belirlenmesi için hiyerarşik karar kuralı sınıflandırma tekniğini uygulamışlar ve çeltik yetiştirme alanlarının spesifik geri saçılımını bulmuşlardır. Yazarlara göre, ürün fenolojisindeki ilerleme veya ekimin gecikmesi nedeniyle SAR geri saçılımındaki artış veya azalma, çeltik alanlarının tanımlanması için temel oluşturmaktadır. İkinci olarak, geç ekilen alanları ve su birikintili alanları diğer alanlardan belirgin bir şekilde ayırmak için bantlardan çeşitli indeksler şeklinde daha sonraki bir tarihe ait optik verilerin potansiyelinden yararlanılmıştır. Bu metodoloji, Rabi çeltik alanlarını tanımlamak için SAR ve optik verilerin sinerjik kullanımını vurgulamaktadır.

Çeltik agro-ekolojik özelliklerini karakterize etme perspektifinde Torbick et al. (2011), bölgesel haritalama için çok zamanlı PALSAR verilerini ve optik görüntüleri birleştirerek bir karar ağacı yöntemi kullanmışlardır. Algoritmaları kalibre etmek ve çeltik haritalarını doğrulamak için çok sezonlu bir arazi çalışması gerçekleştirilmiştir. Arazi verileri uzaktan algılama metrikleriyle nispeten iyi bir uyum göstermiş ve doğrulama, türetilen çeltik haritalarının %89 gibi yüksek bir genel doğruluğa sahip olduğunu ortaya koymuştur. Araştırmacılara göre, SAR ve optik platformları kıta ölçeğinde edinim stratejileri ile birleştiren otomatik yaklaşım, geniş alanlı, operasyonel tarımsal çeltik haritalamasına izin verebilmektedir.

Park et al. (2018), Landsat, RADARSAT-1 ve ALOS PALSAR uydu sensörlerinden elde edilen zaman serisi verilerini, iki farklı iklim bölgesinde (Kaliforniya Eyaleti ve Güney Kore) makine öğrenimi yaklaşımlarıyla çeltik sınıflandırmak için kullanmışlardır. Çeltik sınıflandırma performansı, heterojen arazi örtüsünden oluşan ve yüksek bulut örtüsü oranı nedeniyle düşük veri kullanılabilirliğine sahip olan Güney Kore'ye göre Kaliforniya Eyaleti'nde daha iyi olmuştur. Bu çalışmada ayrıca çeltiğin spektral ve fenolojik özellikleri dikkate alınarak Çeltik Pirinç Haritalama İndeksi (Paddy Rice Mapping Index-PMI) önerilmiştir. Araştırmacılara göre PMI, çeltiğin her iki bölgedeki mekânsal dağılımını iyi bir şekilde temsil etmiştir.

Sédhiou Bölgesi'nin (Senegal) yüksek çözünürlüklü çeltik haritasını sağlama perspektifinde Fiorillo et al. (2020), S1 ve S2 verilerini ve RF'ı kullanmışlardır. Çalışma, Afrika ortamında çeltik haritalaması için serbestçe kullanılabilen S1 ve S2 veri kümelerinin birlikte kullanımını araştırmayı amaçlamaktadır. Algoritma maksimum %87 doğruluk ve 0,8 Kappa katsayısı elde etmiştir. Araştırmacılar, benzer zamansal modeller ve yüksek sınıf içi değişkenlik nedeniyle sınıflandırıcının çeltik ile doğal otsu bitki örtüsünü ayırt etmede kısmi bir zorluk yaşadığını vurgulamışlardır. Ayrıca, bu araştırmanın sonuçları S2'den türetilen tahmin edicilerin VV ve VH geri saçılımdan türetilen tahmin edicilere kıyasla daha değerli bilgiler sağladığını göstermiştir. Bununla birlikte, radar ve optik görüntülerin bir kombinasyonu, tek sensör girdilerine dayalı bir sınıflandırmadan her zaman daha iyi performans göstermiştir.

Talema and Hailu (2020), tropikal bölgelerde çeltik alanının tahmini için mikrodalga ve optik verilerin birlikte kullanımı konusundaki boşluğu doldurmak için bir metodoloji önermişlerdir. CART algoritmasını kullanarak çeltik haritasını çıkarmak için NDVI, MNDWI ve mikrodalga uzaktan algılama veri setlerini kullanmışlardır. Çeltiğin zamansal geri saçılım değerinin erken ekim aşamasında keskin bir şekilde arttığını ve yüksek sel aşamalarında azaldığını göstermiştir. Çeltik geri saçılımındaki artış S1 VH polarizasyonunda daha sürekli. Araştırmacılara göre VH, çeltik tarlalarını ayırt etmede VV'den daha iyidir. S2 görüntüsünden NDVI ve MNDWI ile zamansal SAR geri saçılımının kombinasyonu doğruluğu 0,08 oranında artırmıştır.

3.1.2. Çeltik haritalama algoritmalarının evrimi

Yukarıda açıklanan çalışmalarda, farklı sonuçlarla çeşitli sınıflandırma algoritmaları kullanılmıştır. Dong and Xiao'ya (2016) göre 1980'lerden 2015'e kadar, çeltik haritalama algoritmalarının evriminde, çeltiğin biyofiziksel özelliklerine ve büyüme aşamalarına; çeltik tarlasının spektral özelliklerine, çeltik tarlasının polarimetri özelliklerine ve çeltik tarlasının tarla şekli ve boyut özelliklerine dayanan dört metodoloji veya yaklaşım kategorisi tanımlanabilmektedir. Bunlar: (i) Yansıtma verileri ve görüntü istatistiğine dayalı yaklaşımlar, (ii) bitki örtüsü indeksi verileri ve gelişmiş görüntü istatistiğine dayalı

yaklaşımlar, (iii) fenoloji tabanlı yaklaşımlar ve (iv) bitki örtüsü indeksi veya RADAR geri saçılma tabanlı zamansal analiz yaklaşımları (Tablo 3.1). Çeltik haritalama algoritmasının evrimi hakkında daha fazla bilgi, Dong and Xiao'ya (2016) kaleme aldığı makalede bulunabilir.

Yaklaşım	Algoritma
Yansıtma verileri ve görüntü istatistiğine dayalı yaklaşımlar	Maksimum Olasılık Sınıflandırması (MLC), eşik tabanlı segmentasyon (TS), Denetimsiz sınıflandırma, hibrit sınıflandırma
Bitki örtüsü indeksi verileri ve gelişmiş görüntü istatistiğine dayalı yaklaşımlar	Yapay Sinir Ağı, MLC, TS, Değişiklik algılama, Destek Vektör Makinesi (SVM), entropi ayrışması, ISODATA, Rastgele orman
Fenoloji temelli yaklaşımlar	TS, Spektral eşleştirme teknikleri, karar ağacı, Çok zamanlı analiz, Doğrusal Karışım Modeli, Ampirik Modlu Ayrışma, Tepe dedektörü algoritması, SVM, Polarizasyon Ayrışması, Zamansal Karışım Analizi
Bitki örtüsü indeksi veya RADAR geri saçılma tabanlı zamansal analiz yaklaşımları	ISODATA, MLC, Nesne tabanlı ve piksel tabanlı, Fenoloji Tabanlı Algoritma, TS, Rastgele orman

Tablo 3.1: Çeltik haritalamada kullanılan algoritmalar

Genel olarak, bu sınıflandırma algoritmaları veya metodolojileri, kullanılan verilerin amacına ve türüne bağlı olarak kullanılmıştır. Sınıflandırma algoritmalarının geliştirilmesinde önemli bir gerçek, Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine-SVM), Yapay Sinir Ağı (Artificial Neurone Network-ANN), Rastgele orman (RF) gibi yapay zekâ tekniklerinin entegrasyonudur. Bu teknikler, geleneksel denetimli ve denetimsiz yaklaşımlara kıyasla iyi sonuçlar vermiştir.

Onojeghuo et al. (2018), çok zamanlı S1 ve Landsat verilerine makine öğrenimi algoritmaları uygulayarak çeltik alanlarının haritalanması adlı araştırmalarında, sınırlı yer verisi ile çeltik alanlarının 10 m mekânsal çözünürlüklü haritalarını üretmek için RF ve SVM makine öğrenimi algoritmalarının uygulanmasını önermişlerdir. Bazzi et al. (2019), karar ağacı ve RF algoritmalarının çeltik alanlarını haritalamak için basit ancak hassas ve güçlü bir araç sağladığını belirtmişlerdir.

Çeltik haritalamasında veri kaynakları üzerine yapılan literatür taraması, optik ve SAR görüntülerinin kombinasyonunun iyi bir sonuç verdiğini

göstermektedir. Ancak, çeltik üretim döngüsü boyunca optik görüntü elde etmenin zorluğu önemli bir sorun olmaya devam etmektedir. Bu nedenle, optik görüntülerin aynı davranışa sahip diğer değişkenlerle ikame edilmesini mümkün kılabilen bir alternatif bulabilmek önemlidir. Bazı çalışmalar, genellikle optik görüntülerden elde edilen indeksler arasında bir bağlantı bulmaya ve bunları SAR görüntülerinin polarize bantlarından elde edilen belirli indekslerle karşılaştırmaya çalışmıştır (Mansaray et al., 2017; Lasko et al., 2018; Periasamy et al., 2018). Buna ek olarak, bazı yazarlar yükseklik, eğim, yağış, sıcaklık gibi çevresel değişkenleri kullanarak arazi kullanımı ve arazi örtüsü sınıflandırma sonuçlarını iyileştirmeye çalışmıştır (Blickensdörfer et al., 2022). Bu nedenle, bu çalışmada, SAR görüntülerinin, SAR görüntülerinden elde edilen bazı önemli indeksler ve çeltik haritalamasında ilgili olduğu düşünülen çevresel değişkenlerle birlikte kullanılmasına dayanan bir metodoloji önerilmiştir. Veri kaynakları arasında doğru kombinasyonu bulmak için karşılaştırmalı yaklaşım tercih edilmiştir.

Sınıflandırma yöntemleriyle ilgili olarak, makine öğrenimi algoritmalarının geleneksel sınıflandırma yöntemine kıyasla daha iyi bir sonuç verdiği fark edilmiştir. Buna ek olarak, GEE gibi bulut bilişim platformlarının varlığı, çeltik tarlalarının sınıflandırılmasında makine öğrenimi algoritmalarının kullanımında bir patlamaya yol açmıştır. Daha iyi sonuç veren algoritmalarından biri de RF'dır. Bu nedenle bu çalışmada GEE ortamında makine öğrenmesi algoritması olarak RF kullanılmıştır.

3.2. Tarımsal Arazi Uygunluk Değerlendirmesi İçin En Son Teknoloji

İncelemenin bu bölümünde, tarımsal arazi uygunluk analizine ilişkin araştırmalar hakkında genel bir bakış sunulmaktadır. Bu bölüm, çeltik ekimi için arazinin uygunluğunun değerlendirilmesindeki eğilimleri görmemizi sağlayacaktır.

Toprak, insanların ve diğer karasal yaşam formlarının refahı için temel fiziksel ortamı sağlar ve aynı zamanda önemli bir zenginlik kaynağıdır (Alison, 2001). Arazi kaynaklarının verimli kullanımı yoluyla mevcut ve gelecekteki gıda güvenliğini ele almak için, tek kullanımlık arazinin kapasitesinin ve uygunluğunun mekânsal temelli analitik ve optimizasyon yaklaşımları yoluyla değerlendirilmesi

gerekmektedir (Bonfante et al., 2018). ALSA, arazi kullanım planlamasının kilit süreçlerinden biridir ve mevcut arazi kaynaklarının optimum kullanımının sağlanması için bir ön koşuldur.

Danvi et al. (2016), Benin'deki bir iç vadide çeltik ekimine uygunluğu değerlendirmek için mekânsal olarak açık bir yaklaşımın uygulanması üzerine yaptıkları çalışmada, geleneksel tarımsal arazi uygunluk analizi sistemini kullanmışlardır. Arazi değerlendirmesi için FAO yöntemi ve kılavuzları değerlendirmeye alınmıştır. FAO kılavuzlarını ve mahsul gereksinimlerini kullanarak, ilgili parametrelerin her biri için uygunluk derecelendirme haritaları üretmek ve bunları birleştirerek sınırlayıcı faktör analizine dayalı nihai uygunluk haritalarını oluşturmak için CBS tabanlı uygulama yaklaşımını da kullanmışlardır. İç vadide alanın %52'sinin sulu çeltik ekimi için, %18'inin doğal sel altında ekim için ve %1,2'sinin yağmurla beslenen çeltik için uygun olduğunu bulmuşlardır. Araştırmacılara göre bu çalışma, iç vadilerde sürdürülebilir pirinç üretiminin sağlanmasında önemli bir rol oynayabilmektedir.

Masoud et al. (2013), Gana'da iç vadi çeltik ekimi için en uygun alanları belirlemek amacıyla geleneksel tarım sistemi arazi uygunluk analizini kullanmışlardır. Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon yaklaşımına dayalı geleneksel yöntem değerlendirmeye alınmıştır. Araştırmacılara göre, çalışma çeltik ekimi için uygun alanları başarılı bir şekilde haritalandırmıştır.

Kihoro et al., (2013), Mwea bölgesinde (Kenya) fiziksel ve iklimsel üretim faktörlerine dayalı olarak çeltik ekimine uygunluk haritası geliştirmek için çok kriterli değerlendirme ve CBS yaklaşımını kullanmışlardır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, CBS kullanımının ve çok kriterli Değerlendirme (AHP) uygulamasının, daha iyi tarımsal üretim elde etmek için mahsul ikamesini düşünen karar vericiler için üstün bir veri tabanı ve rehber harita sağlayabileceğini göstermektedir.

Wang et al. (1994), sulak alan çeltiklerini de içeren dört mahsul türünü değerlendirmek üzere araziye uygunluk değerlendirmesi için sinir ağı tabanlı bir yöntem kullanmışlardır. Bir sinir ağının daha karmaşık bir derecelendirme

kuralından arazi uygunluğunu değerlendirebileceğini ve sınırlayıcı karakteristik yöntemlerden daha doğru bir analiz sağlayabileceğini göstermişlerdir.

Heumann et al. (2011), ovada çeltik ve yaylada tarla bitkilerinin baskın olduğu Tayland'da tarımsal mahsul uygunluk haritalaması için MaxEnt modelinin uyarlanmasını ve uygulanmasını değerlendirmiştir. Bu modelleme yaklaşımını değerlendirmek için, üç bağımsız mahsul varlığı veri kümesi kullanılmıştır. MaxEnt modelinin çeltik çeşitleri de dahil olmak üzere yayla ve ova bitkileri için uygunluğu modelleyebildiğini göstermiştir.

Akpoti et al. (2020), Benin ve Togo'da ulusal ölçekte çeltik arazi uygunluğunu haritalamak için bir topluluk çevresel niş modelleme yaklaşımının etkinliğini göstermişlerdir. Artırılmış Regresyon Ağacı (Boosted Regression Tree-BRT), Genelleştirilmiş Doğrusal Model (Generalized Linear Model-GLM), MaxEnt ve RF olmak üzere çevresel niş modellemesine dayalı dört makine öğrenimi algoritması kullanılmışlardır. Bireysel algoritma sonuçları dikkate alındığında, MaxEnt iyi bir sonucu vermiştir. Araştırmacılar, aynı metodolojiyi kullanarak, farklı senaryolar altında iklim değişikliğinin arazinin çeltik ekimine uygunluğu üzerindeki etkisini belirleyebilmişlerdir (Akpoti et al., 2022).

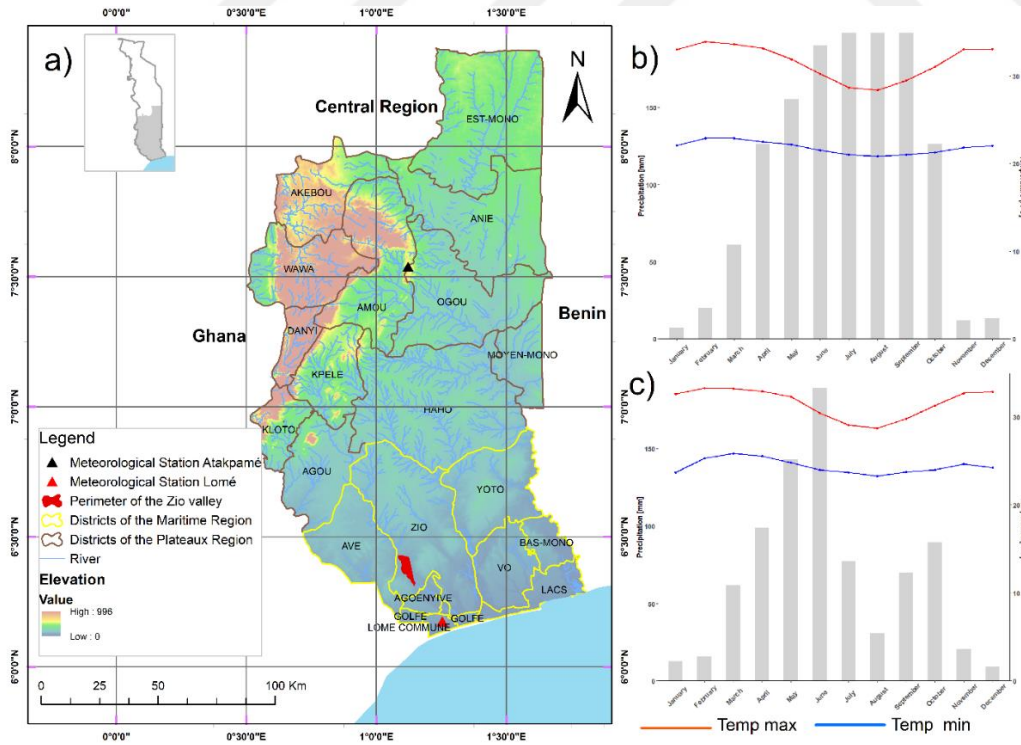
Yürütülen çalışmalar geleneksel arazi uygunluk değerlendirme yöntemlerinin sınırlamalarını göstermiştir. Buna ek olarak, verilerin mevcudiyeti ve arazi uygunluğunun değerlendirilmesi için uygulanan metodolojinin çok kriterli yönü ile modern yöntemlerin iyi bir yaklaşım olduğu kanıtlanmaktadır. Ancak, önemli bir soru devam etmektedir. Tüm modern yöntemler arazi uygunluk değerlendirme yöntemleri olarak değerlendirilebilir mi? Bu yöntemler genellikle aynı verileri kullanmadığı ve aynı varsayımlara dayanmadığı için bu soru geçerliliğini korumaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, mevcut ve gelecekteki iklim değişikliği koşulları altında arazinin çeltik ekimine uygunluğunu değerlendirmek için iki modern yöntem (FAHP ve MaxEnt) kullanılmıştır.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Materyal

4.1.1. Çalışma alanı ve iklim özellikleri

Bu çalışmada Togo'nun iki bölgesi seçilmiştir (Maritime ve Plateaux bölgesi; $0^{\circ} 40''$ E, $6^{\circ} 9''$ N- $1^{\circ} 50''$ E, $8^{\circ} 30''$ N). Maritime bölgesi en geniş sulu çeltik alanlarına (Zio Vadisi) ev sahipliği yapmaktadır. Plateaux bölgesi ise Togo'daki en geniş bölgeyi, dolayısıyla çeltik tarlalarının en geniş mekânsal dağılımını oluşturmaktadır (Şekil 4.1). Maritime ve Plateaux bölgeleri sırasıyla 6.395 km^2 ve 16.800 km^2 'lik bir alanı kaplamaktadır. İki bölge subtropikal bir iklim ile karakterizedir. Yağış açısından, Plateaux bölgesi yaklaşık 1500 mm ve Maritime bölgesi ise $942,3 \text{ mm}$ yağış içeriğine sahiptir. Tahıl üretimi açısından çalışma alanlarında çeltik, Maritime ve Plateaux bölgeleri için sırasıyla ikinci ve üçüncü sırada yer almaktadır. Tam veya kısmi su kontrolüne sahip bazı sulanan çeltik tarlaları dışında, çalışma alanı, mahsullerin karışık bir düzende, nispeten küçük ($\sim 0,25$ hektar) ve parçalanmış arazilerle karakterize edilmektedir.



Şekil 4.1: Çalışma alanı ve İklimsel özellikleri: a- çalışma alanı; 1988-2017 için aylık maksimum ve minimum sıcaklık ve aylık yağış değişimi; b-Plateaux bölgesi; c-Maritime bölgesi

4.1.2. Çalışma bölgelerinde çeltik üretimi durumu

Çalışma alanı düzeyinde, üç çeltik üretim ekolojisi bulunmaktadır. Sulu çeltik ekim sistemi (%30), iç vadi çeltik ekim sistemi (%60) ve yağmurla beslenen çeltik ekim sistemi (%10) şeklindedir. Yağmurla beslenen çeltik ekim sisteminde ekilen alanın büyük olmadığı göz önüne alındığında, bu çalışmada haritalama için iki çeltik ekim sistemi (Sulu çeltik ekim sistemi ve iç vadi çeltik ekim sistemi) dikkate alınmıştır. Çalışma alanında, toplam su yönetimi ile sulu çeltik ekimi ağırlıklı olarak Maritime bölgesinde bulunmaktadır. Plateaux bölgesinde ağırlıklı olarak iç vadi ve alüvyonlu ova çeltik ekimi yapılmaktadır. Bu nedenle, çeltik monokültürü ile geliştirilen geniş alanlar dışında, çalışma alanında çeltik tarlalarının ortalama alanı 0,25 hektar olup, genellikle diğer mahsullerle (çoğunlukla tahıllar) birlikte dir. En çok kullanılan çeşit, 1973 yılında IRRI tarafından yetiştirilen ve Togo Agronomik Araştırma Enstitüsü tarafından muhafaza edilen IR841'dir (*Oryza sativa*). Çeşit, sulanan ve iç vadi ekim ekolojisine uyarlanmıştır. Ekim-olgunluk döngüsü 115-120 gündür ve potansiyel verim 6 ton/ha'dır.



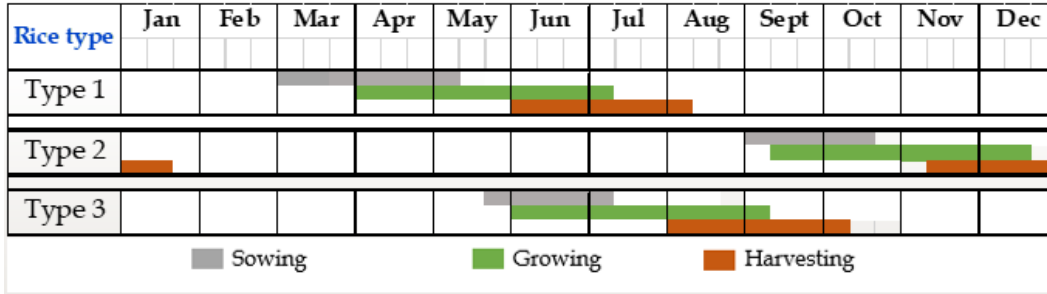
Şekil 4.2: Çalışma alanında çeltik yetiştiriciliği yapılan tarlalara ait görsel

Arazi çalışması sırasında toplanan bilgilere dayanarak, ekim bölgelerine ve dönemlerine göre üç tip çeltik ekim zamanı yapıldığı belirlenmiştir. Tip 1 ve 2 çeltik üretimi çoğunlukla Maritime bölgesinde bulunurken, tip 3 üretim Plateaux bölgesinde bulunmaktadır (Şekil 4.4).



Şekil 4.3: Arazi çalışmaları sırasında veri toplama amacıyla çiftçilerle görüşmeler yapılmıştır

Bu çalışmada haritalama metodolojisinin temel dayanağı olarak bu çeltik türleri kullanılmıştır.



Şekil 4.4: Çalışma alanındaki üç çeltik tipi için ekim takvimin

4.2. Yöntem

Çalışmada; çeltik haritalama yöntemi, çeltik ekimi arazi uygunluk değerlendirmesi, arazi uygunluk haritalarının karşılaştırılması ve iklim değişikliğinin çeltik arazi uygunluğu üzerindeki etkisinin belirlenmesi için metodoloji alt başlıklarında değerlendirme yapılmıştır.

4.2.1. Çeltik haritalama yöntemi

Çeltik haritalama yöntemi; kullanılan veriler, çeltik tarlalarının haritalanmasında yürütülen iş akışı, sınıflandırma sonucunun teknik doğrulaması ve metodolojinin belirsizliği alt başlıklarında açıklanmıştır.

4.2.1.1. Veriler

Çalışma kapsamında kullanılan Sentinel-1 verileri ve gerçekleştirilen ön işlemler, çevresel veriler ve yer verilerinin toplanarak işlenmesi başlıkları altında değerlendirilmiştir.

4.2.1.1.1. Sentinel-1 verileri ve ön işleme

Bu çalışmada, 10 m uzamsal çözünürlüğe sahip S1 C bandı (5.36 GHz) SAR zaman serisi verileri elde edilmiştir. S1, Avrupa Uzay Ajansı'nın (European Space Agency-ESA) bir ürünüdür. Stripmap (SM), Interferometric Wide swath (IW), Extra-Wide swath (EW) ve Wave (WV) olmak üzere her biri farklı bir uygulamaya hizmet etmesi amaçlanan beş farklı modda elde edilmiştir. Cihaz bir verici ve iki alıcı zinciri ile tasarlanmış olup yaklaşık 250 km genişliğinde VH ve VV polarizasyonları içermektedir. Tüm verilere GEE deposu üzerinden erişilmiştir.

GEE kod Editöründe, IW modunda S1'den çift polarize, yer menzili algılanan SAR ürününe erişmek için bir komut dosyası hazırlanmıştır. Yerel olarak, S1 verileri, S1 Araç Kutusundaki algoritmalar kullanılarak termal gürültü giderme, radyometrik kalibrasyon ve arazi düzeltmesi için GEE tarafından ön işleme tabi tutulmuştur (Veci, 2014). Lewis et al. (2018), verileri bilgi çıkarımına hazır hale getirmek için benek filtreleme gibi ek SAR veri ön işleme adımlarının uygulanması önemlidir. Böylece, Sentinel-1 SAR geri saçılım analizine hazır verilerin GEE'de hazırlanması için Mullissa et al. (2021) tarafından önerilen çerçeve takip edilmiştir. Bu ek ön işleme, kalan sınır artefaktlarının ve benek filtrelemenin kaldırılmasını içermektedir. Çerçeve tarafından uygulanan sınır gürültü giderme yöntemi, bir geliş açısı eşiğine ve sınır bölgesindeki komşu piksellerden anormal geri saçılma değerlerinin kaldırılmasına dayanmaktadır (Hird et al., 2017). Benek filtreleme ile ilgili olarak, Quegan and Yu (2001) tarafından farklı tek-zamansal filtrelerle birlikte sunulan çok-zamansal görüntü filtreleme kullanılmıştır. Bu çalışmada çok zamanlı Lee filtresi (Lee, 1980) seçilmiştir. Parametrelerin ayarlanmasında çekirdek boyutu için 15 piksel ve çoklu zamansal filtreleme için 10 görüntü kullanılmıştır.

Çeltik mahsulü yetiştirme döngüsü boyunca (01 Ocak 2019'dan 01 Şubat 2020'ye kadar), Maritime ve Plateaux bölgeleri için sırasıyla 131 ve 196 görüntüler

elde edilmiştir. Çeltik yetiştirme sisteminin tipine göre, GEE'de *imageCollection.median()* işlevi kullanılarak iki haftada bir görüntü birleştirme oluşturulmuştur. Bu yaklaşım üç ana nedenden dolayı kullanılmıştır. Bunlar: çalışma alanı üzerinde SAR görüntülerinin mevcudiyeti; çeltik fenolojisini daha iyi izlemek için iyi stoklanmış bir geçici seriye sahip olma ihtiyacı ve bazı görüntülerin farklı tarihlerde alınmış olmasıdır. Birkaç araştırmacı, geri saçılma yoğunluğunu kullanarak SAR (SAR-VM) verilerinden bitki örtüsü ölçümlerinin türetilmesini araştırmıştır (Brisco et al., 2011; Veloso et al., 2017; Trudel et al., 2012; Periasamy, 2018). S1 geri saçılım verilerinden daha fazla bilgi çıkarmak için ön işlemeden sonra farklı polarize indeksler, oran ve zamansal bir istatistik özelliği hesaplanmış ve sınıflandırma yaklaşımları için ortak değişkenler olarak kullanılmıştır (Tablo 4.1). Bu çalışmada kullanılan S1 geri saçılımından türetilen tüm ortak değişkenler, birkaç arazi kullanımı ve arazi örtüsü sınıflandırma çalışmasında başarıyla kullanılmıştır (Brisco et al., 2011; Veloso et al., 2017; Trudel et al., 2012; Periasamy, 2018; Dirgahayu et al., 2019; Xu et al., 2021).

Endeks ve İstatistik özelliği	Kısaltma	Denklem
Polarized Ratio	VHrVV	$VHrVV = \frac{\sigma_{VH^0}}{\sigma_{VV^0}} \quad (4.1)$
Normalized Difference Polarized Index	NDPI	$NDPI = \frac{\sigma_{VV^0} - \sigma_{VH^0}}{\sigma_{VV^0} + \sigma_{VH^0}} \quad (4.2)$
Radar Vegetation Index	NVHI	$NVHI = \frac{4\sigma_{VH^0}}{(\sigma_{VV^0} + \sigma_{VH^0})} \quad (4.3)$
Backscatter Temporal Variance	BTV	$BTV = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_{VH^0_{t=i}} - \sigma_{VH^0_{mean}} ^2 \quad (4.4)$

Tablo 4.1: S1 SAR verilerinden hesaplanan polarize indeksler ve varyans

4.2.1.1.2. Çevresel veri

Çalışma alanımızın karmaşıklığı ve çeltik üretim sisteminin çeşitliliği nedeniyle, haritalama yaklaşımlarında bazı çevresel ortak değişkenler (Environmental covariate-EV) de kullanılmıştır (Tablo 4.2). Önerilen EV'nin çeltik tarlalarının tahmini için uygun olabileceği varsayılmıştır. Blickensdörfer et al. (2022), optik, SAR ve EV'nin birleştirilmesi, tek sensörlü yaklaşımlara kıyasla genel doğrulukları %6 ila %10 oranında artırmaktadır. GEE aracılığıyla NASADEM'e (NASA JPL, 2020) erişilmiş ve yükseklik, eğim ve topografik ıslaklık indeksi (Topographic wetness index-TWI) (Denklem 4.5) gibi topografik veriler türetilmiştir. Gruber and Peckham (2009), TWI, topoğrafya ile ilgili

herhangi bir yerde potansiyel su mevcudiyetini veya nemliliğini tanımlamak için kullanılmaktadır. Çeltik genellikle su yollarına yakın yerlerde yetiştirildiğinden, kalıcı bir su yoluna olan mesafe (Distance from Permanent Water-DPW) de bir değişken olarak kullanılmıştır. Bu mesafe, ArcGIS 10.8'deki Euclidean mesafeleri aracı kullanılarak hesaplanmıştır.

$$TWI = \ln \left[\frac{A}{\tan(\beta)} \right] \quad (4.5)$$

Denklem 4.5'te yer alan A, ilgili konumdaki belirli havza alanını ve β yerel eğim açısını göstermektedir.

Değişken [birim]	Uzamsal çözünürlük	Zamansal çözünürlük	Kaynak
Yükseklik [m]	30 m		NASA JPL (2020), DEM in GEE
Eğim [°]	30 m	Sabit (1)	NASA JPL (2020), DEM in GEE
TWI	10 m		NASA JPL (2020), DEM and calculate in ArcGIS 10.8
EDWater or DPW [m]	10 m		DGCN* and calculate in ArcGIS 10.8

Tablo 4.2: Çevresel veri kümelerinin özeti

* Togo Ulusal Harita Genel Müdürlüğü

4.2.1.1.3. Yer verilerinin toplanması ve işlenmesi

Arazi verilerini toplamak için dört ana veri kaynağı kullanılmıştır. Bunlar: (i) çeltik ekimi için belirlenen alanları belirlemek üzere 11-19 Ekim 2020 tarihleri arasında gerçekleştirilen arazi çalışmaları; (ii) Ulusal Tarımsal İstatistik, Bilgi ve Dokümantasyon Müdürlüğü (Direction des Statistiques Agricoles de l'Information et de la Documentation-DSID) verileri; (iii) Akpoti et al., (2020)'den elde edilen veriler ve (iv) Google Earth Pro üzerinde elde edilen veriler. Saha çalışması sırasında, yağışların gecikmesi nedeniyle bazı üreticiler çeltik ekmemiştir. Bu nedenle, arazi araştırması sırasında sadece en az 3 yıl üst üste ekilen çeltik tarlalarının koordinatları ve mahsul bilgileri toplanmıştır. Toprak hazırlama tarihi, ekim; hasat dönemi ve kullanılan çeşitler gibi mahsul bilgileri de toplanmıştır. Bu bilgiler, çalışma alanındaki çeltik türlerini ve en çok kullanılan çeşidi

tanımlamamızı sağlamıştır. DSID'nin verileri, Togo'daki çeltik verimini ve üretim alanını tahmin etmek için kullanılan çiftçi tabanından oluşmaktadır. Veri tabanı, çiftçiler ve yetiştirilen ürünler hakkında arazi koordinatları, metrekare başına çeltik verimi gibi bilgileri içermektedir. Çeltik ekili iç vadinin coğrafi koordinatları Akpoti et al. (2020)'den alınmıştır. Bu çalışmada, Google Earth Pro temel olarak toplanan noktaların doğrulanması ve diğer noktaların oluşturulması için kullanılmıştır. Yüksek çözünürlüklü bir görüntüde, bir çeltik tarlası, engebeli veya toplam arazi gelişiminin varlığı ile tanımlanabilmektedir. Tanımlama tatmin edici olmadığına, puan silinmektedir.

4.2.1.2. Çeltik tarlaları haritalama iş akışı

GEE aracılığıyla, S1 görüntüleri ön işleme tabi tutulmuş ve çalışma alanında belirlenen üç çeltik tipine göre iki haftalık bir zaman serisini takip eden bir görüntü yığını halinde gruplandırılmıştır. Nguyen et al. (2016), SAR VH polarizasyonunun çeltik büyüme aşamalarına VV polarizasyon verilerinden daha duyarlı olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle çalışmada, çeltik haritalama için temel özellik olarak S1-VH polarizasyonu kullanılmıştır.

S1 ve çevresel verilerden elde edilen ortak değişkenlerin büyük ölçekte ve karmaşık bir çeltik yetiştirme ortamında çeltik haritalamasındaki önemini ve katkısını değerlendirmek için dört özellik seti (bu çalışmada modeller olarak adlandırılmaktadır) karşılaştırılmıştır (Tablo 4.3). İlk model yalnızca S1 VH polarizasyon verileri üzerine kurulmuştur. İkinci ve üçüncü model sırasıyla S1 VH ile SAR-VM ve EV'yi birleştirmiştir. Dördüncü model S1 VH'yi hem SAR-VM hem de EV ile birleştirmiştir. Her model tipi için özellik sayısı farklıdır.

Model	Toplam özellik sayısı		
	Tip 1	Tip 2	Tip 3
S1 VH	14	11	14
S1 VH+EV	18	15	18
S1 VH+SAR VM	57	45	57
S1 VH + EV + SAR VM	61	49	61

Tablo 4.3: Giriş veri alt kümelerine dayalı sınıflandırma modelleri

Sınıflandırma için RF algoritmasına dayalı makine öğrenmesi yaklaşımı kullanılmıştır. Literatürde, çeltik sınıflandırması için RF dahil olmak üzere makine öğrenimi algoritmalarını başarıyla kullanan birçok çalışma bulunmaktadır (Shao et al. 2012; Mountrakis et al., 2011; Shihua et al. 2014; Ozdogan ve Gutman, 2008; Singha et al. 2019 ; Chen et al. 2020). RF algoritmasında, ormandaki her ağaç torbalama yoluyla eğitim verilerinin bir alt kümesini kullanmakta ve en iyi bölünmüş değişken düğümleri bölmek için kullanılmakta ve kalan veri noktaları dahili çapraz doğrulama için bırakılmaktadır (Chen et al., 2020). Pal (2005), RF algoritmasının yüksek sınıflandırma doğruluğu sağladığını, yüksek veri boyutluluğuyla başarılı bir şekilde başa çıktığını, hesaplama açısından hızlı olduğunu, aşırı uyuma karşı dayanıklı olduğunu ve değişken öneminin bir ölçüsünü sağlayabildiğini belirtmiştir.

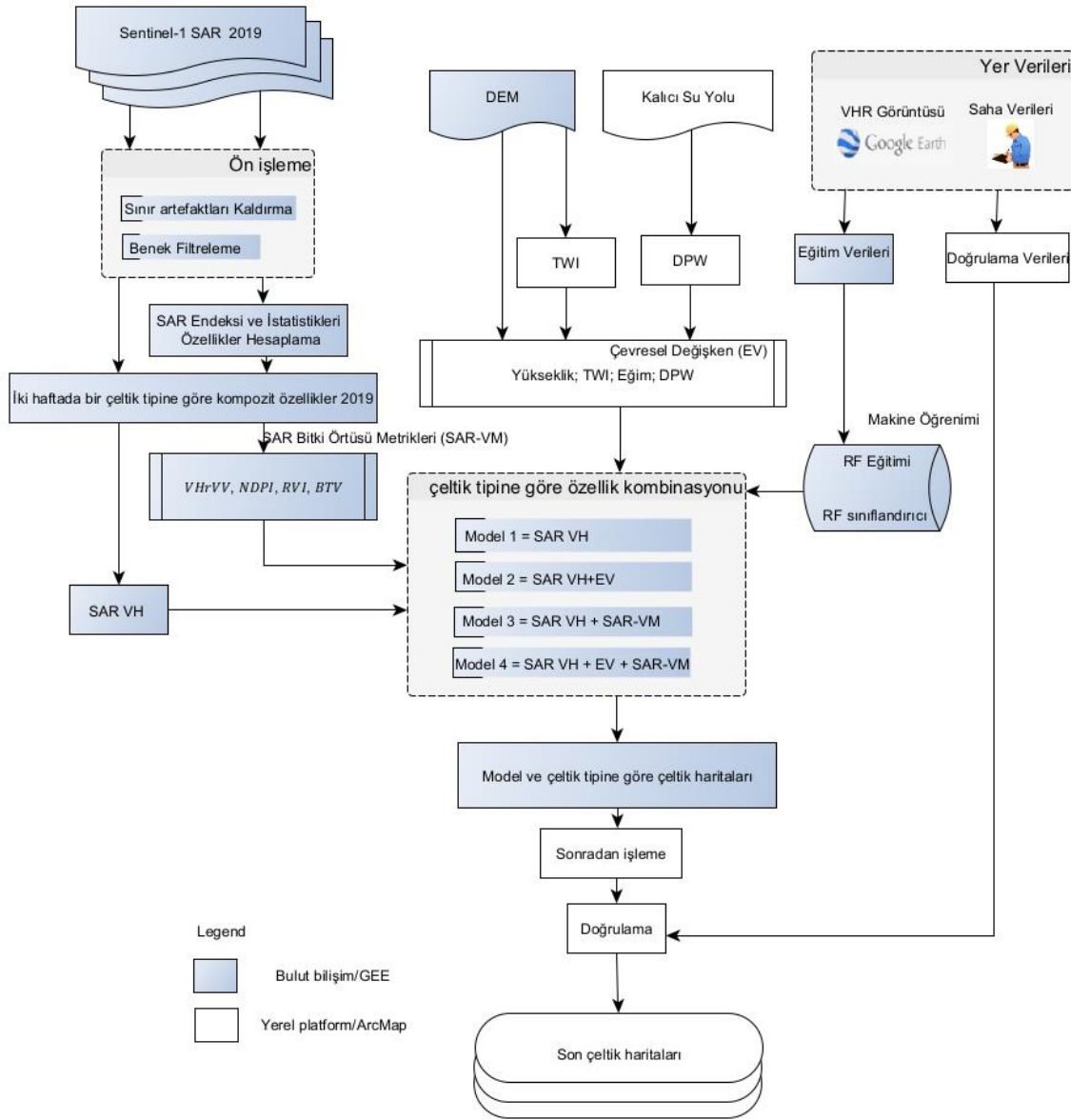
GEE'de *ee.Classifier.smileRandomForest* olarak adlandırılan RF sınıflandırıcı, ağaç sayısı (Ntree); bölünme başına değişkenler (mMtr); minimum yaprak popülasyonu; torba fraksiyonu; maksimum düğümler ve tohum gibi altı argümana sahiptir. Bu çalışmada, ağaç sayısı 40 olarak belirlenmiş ve geri kalan argümanlar varsayılan olarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı çeltiğin diğer arazi örtülerinden ayırt edilmesi olduğundan, arazi verileri çeltik ve çeltik olmayan sınıf olarak gruplandırılmıştır. Maritime ve Plateaux bölgelerindeki çeltik tipleri için sırasıyla toplam 1017 (çeltik sınıf için 209 ve çeltik olmayan sınıf için 808) ve 1015 (çeltik sınıf için 356 ve çeltik olmayan sınıf için 659) arazi verileri kullanılmıştır. Ardından, veriler sınıflandırıcı eğitimi ve sınıflandırma doğrulaması için sırasıyla rastgele %70/%30'a bölünmüştür. Çalışma alanında, verilerin mekânsal dağılımının sınıflandırma algoritması üzerindeki etkisini azaltmak için çeltik tipleri, çeltik tipinin üretim alanına bağlı olması nedeniyle ilgili bölge dikkate alınarak sınıflandırılmıştır.

Bu çalışmada haritalama metodolojisi GEE ve ArcGIS 10.8'de geliştirilmiştir (Şekil 4.5). Aşağıdaki bağlantılar çeltik tiplerini haritalamak için kullanılan kodlara atıfta bulunmaktadır.

<https://code.earthengine.google.com/b4ad859617e9f354e572f8a0b461e19e>

<https://code.earthengine.google.com/4e29c4f01cbd09a14c3b476506c0788a>

<https://code.earthengine.google.com/2fa3864dd6ce3c2fd5bad486a6e17da8>



Şekil 4.5: Çeltik tarlaları haritalama iş akışı

Piksel tabanlı sınıflandırma sonuçları ‘salt and pepper’ gürültüsünden etkilendiğinden (Khati, 2018), son olarak bir son işlem adımı uygulanmıştır. Doğrulama adımının yanı sıra son işlem de ArcGIS 10.8’de yapılmıştır. İlk olarak

üçer üç pencereleli bir çoğunluk filtresi uygulanmıştır. Ardından, 0,25 hektarlık bir eşleme birimi tanımlamak için bir eleme algoritması kullanılmıştır.

Her bir çeltik tipi ve kullanılan sınıflandırma stratejileri için her bir aday değişkenin katkısı belirlenmiştir. Bu amaçla, R studio'deki "VarImp" paketi kullanılarak, dahili RF Ortalama Azalma Gini safsızlığı kullanılmıştır. Gini katsayısındaki ortalama düşüş, her bir değişkenin ortaya çıkan RF'deki düğümlerin ve yaprakların homojenliğine ne kadar iyi katıldığına bir ölçüsüdür.

4.2.1.3. Sınıflandırma sonucunun teknik doğrulaması

Sınıflandırma sonucunun teknik doğrulaması ile ilgili olarak, farklı hedeflere sahip üç yaklaşım kullanılmıştır. İlk olarak, arazi verileri ile sınıflandırma sonuçları arasındaki ilişkiyi kategori bazında değerlendirmek için, kalan %30'luk kısım karışıklık matrisi oluşturmak için kullanılmıştır. Karışıklık matrisinden, Genel Doğruluk (Overall Accuracy-OA) (Denklem 4.6), Kullanıcı Doğruluğu (User Accuracy-UA) (Denklem 4.7), Üretici Doğruluğu (Producer Accuracy-PA) (Denklem 4.8) ve Kappa İstatistiği (Denklem 4.9) gibi farklı tanımlayıcı ölçüler hesaplanmıştır.

$$OA = \frac{(\text{Doğru sınıflandırılmış piksel sayısı})}{(\text{Referans örnekleme piksel sayısı})} \quad (4.6)$$

$$UA = \frac{(\text{Sınıf başına toplam doğru sınıflandırma sayısı})}{(\text{Satır toplamı})} \quad (4.7)$$

$$PA = \frac{(\text{Doğru sınıflandırılmış piksel sayısı})}{(\text{Sütun toplamı})} \quad (4.8)$$

$$Kappa = \frac{(\text{genel doğru değer yüzdesi} - \text{gözlemlenen değerlere yüzde doğru uyum})}{(\text{toplam sınıf sayısı} - \text{gözlenen değerlere yüzde doğru uyum})} \quad (4.9)$$

İkinci olarak, bölgesel ve ilçe düzeylerinde haritalanmış çeltik alanlarının inandırıcılığını değerlendirmek için ulusal tarım istatistikleri verileri kullanılmıştır. Bu karşılaştırma, haritaların çalışma bölgesindeki çeltik alanını ne kadar iyi temsil ettiğini anlamak için yapılmıştır. Veriler DSID'den toplanmıştır ve bölge ve ilçe

düzeyinde Togo'nun ana mahsullerinin alanı, verimi ve üretimi ile ilgili verilerden oluşmaktadır.

Son olarak, çalışma alanı için mevcut bir çeltik haritası bulunmadığı göz önünde bulundurularak, çalışma alanındaki çeltiklerin mekânsal dağılımını 2016 ESA CCI Arazi Örtüsü ürünü ile karşılaştırarak mevcut haritanın öngörülerini değerlendirilmeye çalışılmıştır. Amacımız, sınıflandırılmış çeltik alanlarının çeltik arazilerinin bulunabileceği arazi örtülerinde ne kadar iyi dağıldığını değerlendirmek olmuştur. ESA CCI, Aralık 2015'ten Aralık 2016'ya kadar 1 yıllık S2 gözlemlerine dayanan Afrika üzerinde yüksek çözünürlüklü bir arazi örtüsü haritası prototipidir. Arazi yüzeyini 20 m'de uygun şekilde tanımlayan 10 genel sınıftan oluşmaktadır. Bunlar: Ağaçlarla kaplı alanlar, çalılarla kaplı alanlar, otlaklar, ekili araziler, suda yaşayan veya düzenli olarak sular altında kalan bitki örtüsü, liken ve yosunlar / seyrek bitki örtüsü, çıplak alanlar, yerleşik alanlar, kar ve/veya buz ve su (ESA, 2016).

4.2.1.4. Metodolojinin belirsizliği

Bu çalışmada önerilen sınıflandırma stratejileri çeltik alanlarını iyi bir doğrulukla haritalamış olsa da, haritalamamızın nihai sonuçlarını etkileyebilecek potansiyel belirsizlik kaynakları olabileceğinin farkındayız. Çalışma alanında, özellikle Maritime bölgesinde, çeltik yetiştirilen alanların çoğunda, çiftçilerin neredeyse her zaman çeltik ekmesine olanak tanıyan sulama planları bulunmaktadır. Metodolojik yaklaşımımızda, bölgedeki çeltik tipleri, arazi araştırmamıza ve çalışma alanındaki çeltik yetiştiriciliği deneyimimize dayanarak tanımlanmıştır. Çeltik tarlalarının yüksek zamansal ve mekânsal değişkenliği nedeniyle bazı alanlar yanlış sınıflandırılabilir. Bunun nihai sonuç üzerinde bir etkisi olacaktır. Buna ek olarak, Maritime bölgesindeki her çeltik tipine özgü eğitim ve doğrulama verilerini bulmak zor olmuştur. Bu nedenle, çeltik tipi 1 ve 2'yi eğitmek ve doğrulamak için kullanılan veriler aynıdır. Bir başka potansiyel hata kaynağı da bazı referans veriler ile Sentinel-1 görüntüleri arasındaki zaman farkıyla ilgili olabilmektedir. Ayrıca, Ulusal Tarım İstatistikleri Müdürlüğü'nden toplanan referans veriler ve Google Earth Pro aracılığıyla toplanan bazı veriler dışında, diğer referans veriler ve S1 görüntüleri farklı tarihlerde elde edilmiştir.

4.2.2. Çeltik ekimi arazi uygunluk değerlendirmesi için yöntem

Çeltik ekimi için arazi uygunluk analizinde çeşitli yöntemler kullanılmakta ve bunlar geleneksel yöntemler ve modern yöntemler olmak üzere iki büyük gruba ayrılmaktadır. Bu çalışmada, modern yöntemler, çeşitli kriterleri sistematik ve verimli bir şekilde analiz etme yetenekleri de dahil olmak üzere çeşitli nedenlerle tercih edilmiştir. Çok sayıda modern yöntemin varlığı nedeniyle, bu çalışmada literatürde etkili olduğu düşünülen iki yöntemin karşılaştırmalı bir analizi önerilmiştir: bulanık mantık ve çok kriterli analiz-AHP (FAHP) kombinasyonuna dayalı modern yöntem ve makine öğrenimi tekniğine dayalı modern yöntem (Ekolojik niş modelleme) (SDM).

4.2.2.1. FAHP yaklaşımı

4.2.2.1.1. FAHP yaklaşımı için veri kaynağı

FAHP yöntemine dayalı çeltik arazi uygunluğunun değerlendirilmesi için 4 kategoriye veya faktöre ayrılmış toplam 10 kriter seçilmiştir (Tablo 4.4). Bu kriterlerin seçimi, esas olarak bunların mevcudiyetine, çalışma alanındaki çeltik yetiştiriciliğindeki önemine ve benzer çalışmalarda kullanılmasına dayanmaktadır.

Faktör	Alt faktör	Kriter	Çözünürlük	Kaynak
İklim	Sıcaklık	Büyüme döngüsünün sıcaklık ortalaması (°C)	1km	www.worldclim.org
	Yağış	Büyüme döngüsünün yağış ortalamaları (mm)	1km	www.worldclim.org
Topografya	Topografya	Eğim (%)	30m	NASA JPL (2020), DEM in GEE
Toprak	Toprak	Karbon (g/kg)	30m	ISDA-Africa*
		Kasyon değişim kapasitesi (cmol+/kg)	30m	ISDA-Africa
		pH	30m	ISDA-Africa
		Doku	30m	ISDA-Africa
Sosyo-ekonomik ve erişilebilirlik	Sosyo-ekonomik ve erişilebilirlik	Kalıcı sudan uzaklık-DPW (m)	30m	DGCN** and calculate in ArcGIS 10.8
		Yol ağına uzaklık -DTR (m)	30m	DGCN and calculate in ArcGIS 10.8
		Nüfus yoğunluğu	1km	Gridded Population of the World Version 4.11

Tablo 4.4: FAHP yaklaşımında kullanılan faktörler ve kriterler

*<https://www.isda-africa.com/isdasoil/>; ** Togo Ulusal Haritacılık Genel Müdürlüğü

4.2.2.1.2. FAHP yaklaşımı için iş akışı

4.2.2.1.2.1. Faktör yeniden sınıflandırması

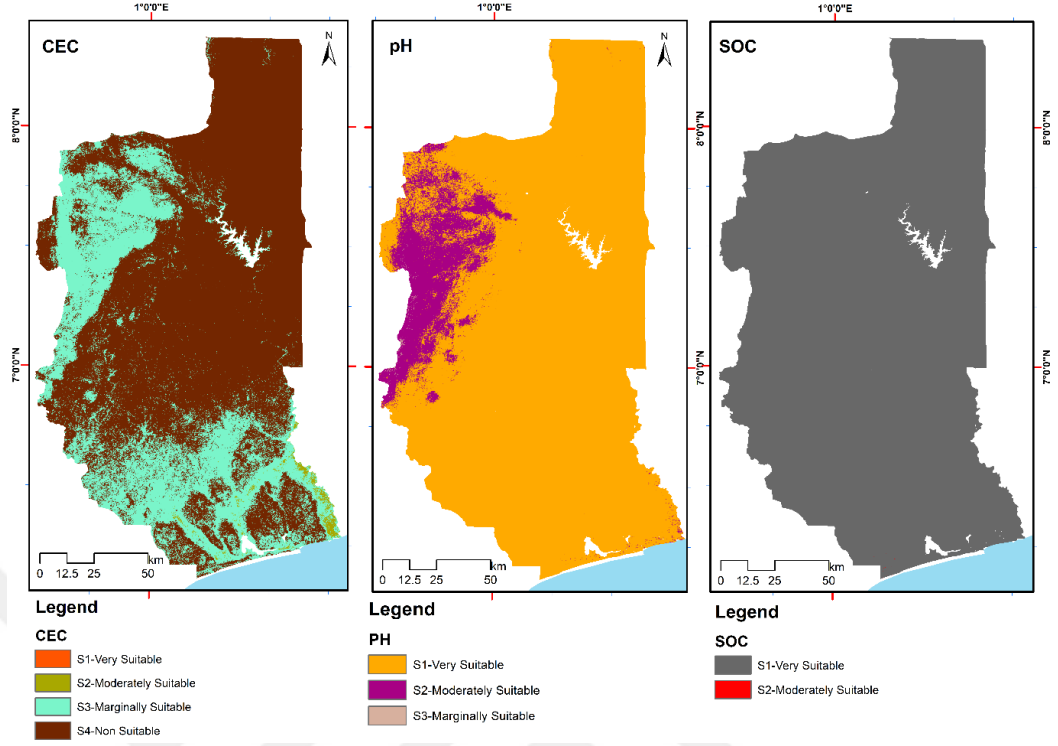
Bu çalışmada tematik katmanların yeniden sınıflandırılması için FAO 1976 yöntemi kullanılmıştır (Tablo 4.5). Kullanılan sınıf sınırlarının seçimi, Sys et al. (1991)'in çalışmalarına ve literatürdeki diğer çalışmalara dayanmaktadır (Tablo 4.6). Şekil 4.6, 4.7, 4.8 ve 4.9, yeniden sınıflandırılmış kriterlerin tematik haritalarını göstermektedir.

FAO sınıfları	Açıklama
S1- Çok Uygun:	Belirli bir kullanımın sürekli olarak uygulanmasına yönelik önemli sınırlamaları olmayan veya verimliliği veya faydaları önemli ölçüde azaltmayacak ve girdileri kabul edilebilir bir seviyenin üzerine çıkarmayacak yalnızca küçük sınırlamaları olan arazi.
S2-Orta Düzeyde Uygun:	Belirli bir kullanımın sürekli olarak uygulanması için toplamda orta derecede ciddi sınırlamalara sahip arazi; sınırlamalar verimliliği veya faydaları azaltacak ve kullanımdan elde edilecek genel avantajın, hala cazip olmasına rağmen, S1 Sınıfı arazide beklenenden kayda değer ölçüde daha düşük olacağı ölçüde gerekli girdileri artıracaktır.
S3- Marjinal Olarak Uygun:	Belirli bir kullanımın sürekli uygulanması için toplu olarak ciddi olan ve üretkenliği veya faydaları azaltacak veya gerekli girdileri artıracak sınırlamalara sahip arazi, bu harcamanın yalnızca marjinal olarak gerekçelendirilecektir.
N1 ve 2- Şu anda ve kalıcı olarak Uygun Değil:	Zaman içinde aşılabilecek, ancak şu anda kabul edilebilir maliyetle mevcut bilgi ile düzeltilemeyen sınırlamaları olan arazi; Sınırlamalar, arazinin verilen şekilde başarılı bir şekilde sürekli kullanımını engelleyecek kadar şiddetlidir. Arazinin belirli bir şekilde başarılı bir şekilde sürekli kullanım olanaklarını engelleyecek kadar ciddi görünen sınırlamalara sahip arazi.

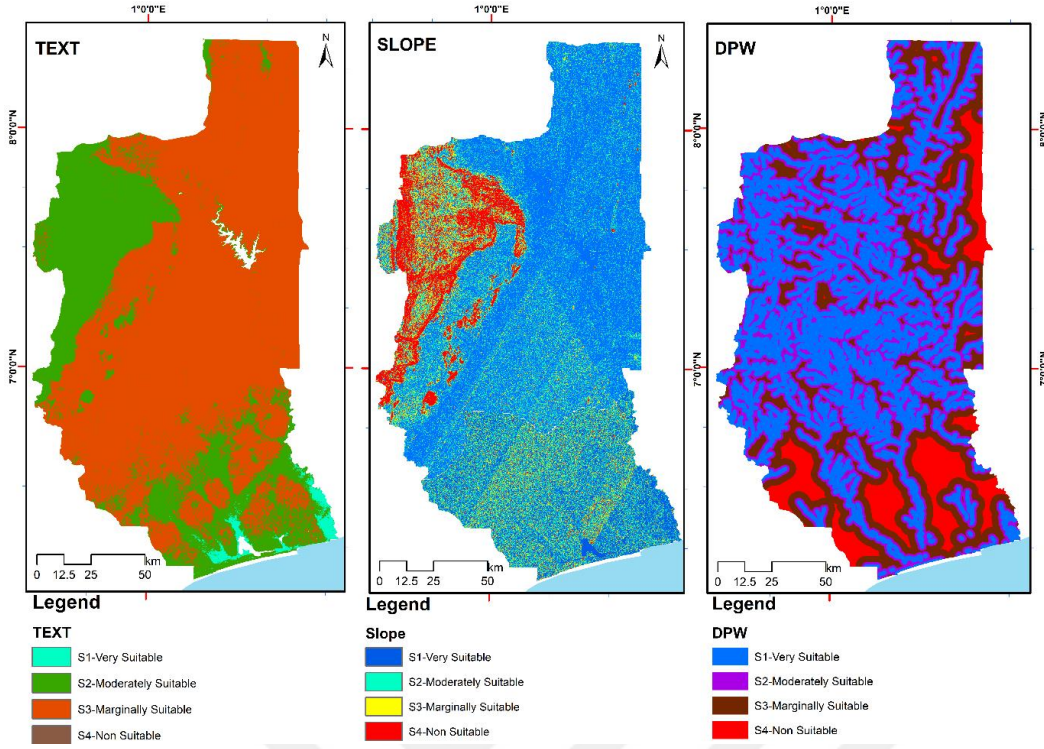
Tablo 4.5: FAO arazi uygunluk sınıflandırması

Kriter	S1- Çok Uygun	S2-Orta Düzeyde Uygun	S3- Marjinal Olarak Uygun:	N- Uygun Değil
Büyüme döngüsünün yağış ortalamaları (mm)	>170	120-170	70-120	<70
Büyüme döngüsünün sıcaklık ortalaması (°C)	24-26	>26-30 ve 18-24	10-18	<10 ve >30
Doku	CL, SiCL, SiL, C, SC	L, SCL, SiC	Si, SL	S, LS
Katyon değişim kapasitesi (cmol+/kg)	>24	24-16	>10-16	<10
pH	>5.5-7	5-5.5 ve 7-8.5	5-4.5; >8.5-8.8	>8.8 ve <4.5
Karbon (g/kg)	>5	<5-3	<3-2	<-2
Eğim (%)	<3	03--5	>5-8	>8
DPW	<1	>1-2	>2-5	>5
DTR	Doğal kırılma			
Nüfus yoğunluğu	Doğal kırılma			

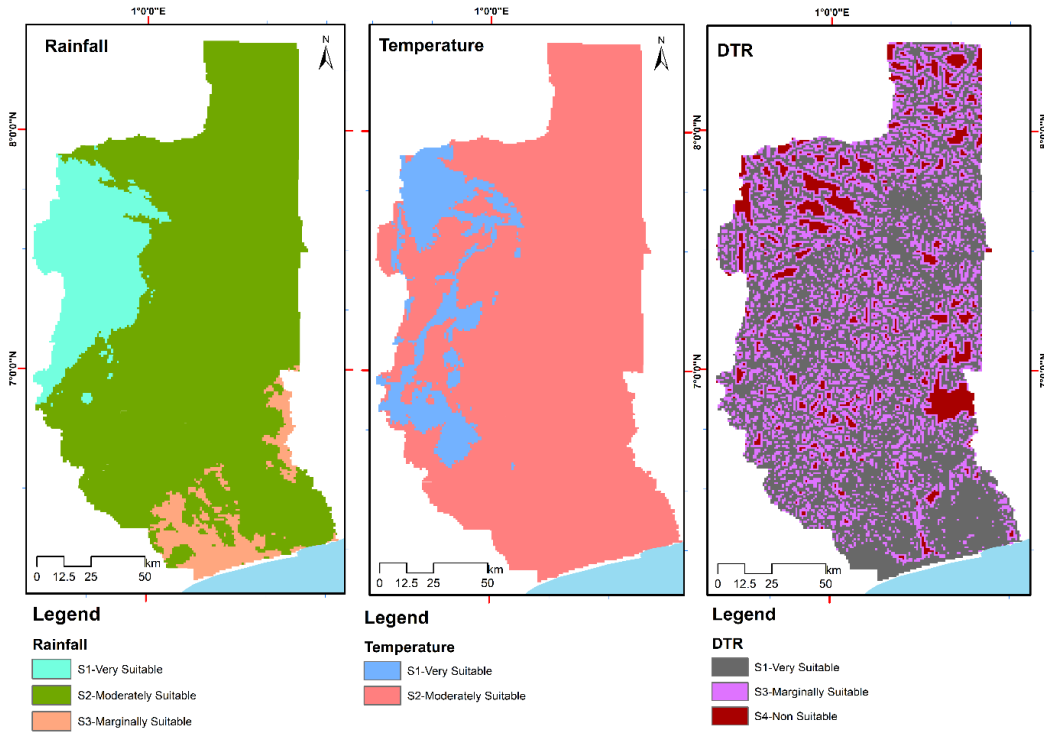
Tablo 4.6: çeltik için arazi uygunluğunu belirleme kriterleri



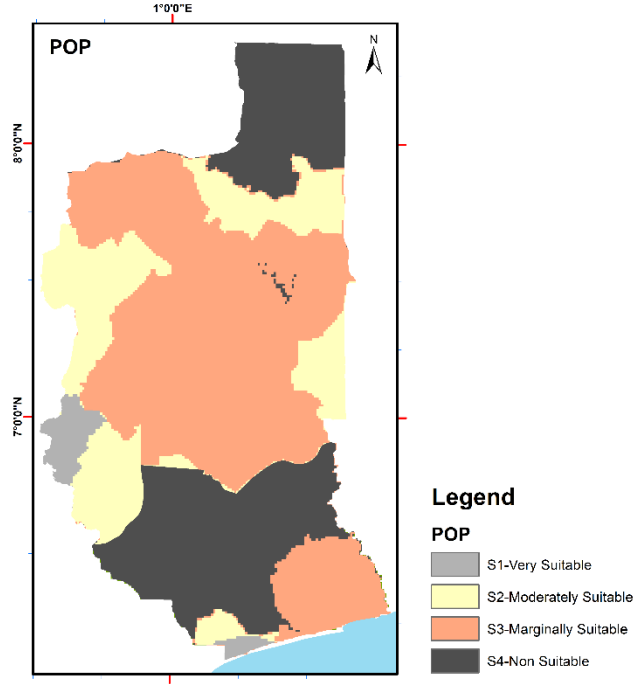
Şekil 4.6: FAO çerçevesini ve çeltik gereksinimini kullanan kriterler (KDK, pH, Karbon) için uygunluk haritaları



Şekil 4.7: FAO çerçevesini ve çeltik gereksinimini kullanan kriterler (Doku, Eğim, DPW) için uygunluk haritaları



Şekil 4.8: FAO çerçevesini ve çeltik gereksinimini kullanan kriterler (Yağış, sıcaklık, DTR) için uygunluk haritaları



Şekil 4.9: FAO Nüfus yoğunluğu için uygunluk haritaları

4.2.2.1.2.2. Değerlendirme kriterleri ağırlıklarının belirlenmesi

Literatürde Saaty tarafından geliştirilen AHP'nin çok kriterli karar problemlerinin ele alınmasında çok faydalı bir karar analiz aracı olduğu tespit edilmiş ve arazi uygunluk analiz problemlerine başarıyla uygulanmıştır (Rodcha et al., 2019; Sadiq et al., 2018; Sarkar et al., 2021; Tashayo et al., 2020). Ancak, ölçütlerin değerlendirilmesinde nesnellik olmaması nedeniyle yöntem genellikle eleştirilere maruz kalmaktadır. Bu nedenle, bu sorunun üstesinden gelmek için Buckley (1985), Saaty'nin AHP'sini değerlendiricilerin kesin oranlar yerine bulanık oranlar kullanmasına izin verildiği duruma genişletmiştir. Bu, insanların ikili karşılaştırmaya devam ederken kesin oranlar atama ve geometrik ortalama yöntemiyle kriterlerin bulanık ağırlıklarını türetme zorluğunun üstesinden gelmek içindir (Hsieh et al., 2004). Bu çalışmada, kriter ağırlıklarının değerlendirilmesi için Buckley yöntemi kullanılmıştır.

4.2.2.1.2.3. Bulanık hiyerarşik değerlendirme için kavramlar

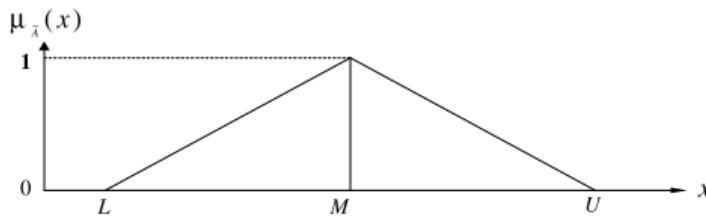
- *Bulanık sayılar*

Bulanık sayılar, tek bir değere değil, her olası değer 0 ile 1 arasında kendi ağırlığına sahip olduğu bağlantılı bir olası değerler kümesine atıfta bulunması anlamında normal, gerçek bir sayının genellemesidir (Dijkman et al., 1983). Onlar makara numarasının bir uzantısıdır. Literatürde Üçgen Bulanık Sayı (TFN), Yamuk Bulanık Sayı (TrFN) ve Gauss Bulanık Sayı (GFN) bulunmaktadır. Her bir Bulanık Sayı türü, çalışma amaçlarına göre kullanılmaktadır. Bu çalışmada TFN kullanılmıştır. Laarhoven and Pedrycz (1983), bir üçgen bulanık sayı (TFN) aşağıdaki temel özelliklere sahip olmalıdır.

$$\mu_{\tilde{A}}(x): R \rightarrow [0, 1]$$

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} (x - L)/(M - L), & L \leq x \leq M, \\ (U - x)/(U - M), & M \leq x \leq U, \\ 0, & \text{aksi halde,} \end{cases} \quad (4.10)$$

Denklem 4.10'de yer alan L ve U sırasıyla $\tilde{A}$ bulanık sayısının alt ve üst sınırlarını, M ise modal değeri temsil etmektedir (Şekil 4.10). Böylece, TFN $\tilde{A} = (L, M, U)$ ile gösterilebilmektedir.



Şekil 4.10: Üçgen bulanık sayının üyelik fonksiyonu

- *Dilsel değişkenler*

Dilsel değişken, değerleri sayılar değil, doğal bir dildeki kelimeler veya cümleler olan bir değişkendir. Zadeh (1975), geleneksel nicelemenin, açıkça karmaşık veya tanımlanması zor olan makul durumları ifade etmesi çok zordur; bu nedenle, bu tür durumlar için dilsel bir değişken kavramı gereklidir. Her dilsel

değişken, değerleri belirli bir aralıktaki gerçek sayılar olan bir temel değişken açısından tanımlanmaktadır. Temel değişken, herhangi bir fiziksel değişken tarafından örneklendiği gibi, genel anlamda bir değişkendir (örneğin, sıcaklık, basınç, elektrik akımı, manyetik akı, vb.). Bir dilsel değişkende, belirli bir uygulamayla ilgili bir temel değişkenin yaklaşık değerlerini temsil eden dilsel terimler, yaklaşık bulanık sayılarla yakalanmaktadır.

4.2.2.1.2.4. Bulanık analitik hiyerarşi süreci (FAHP)

FAHP ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi işlemi aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Adım 1. Hiyerarşi sisteminin boyutlarındaki tüm kriterler arasında ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulması. İkili karşılaştırma matrisi, AHP tekniğinin iki kriter arasında karar vermesi ve uzun bir değişken listesini öncelik vermesi için gereklidir (Aczeel and Saaty, 1983). FAHP'de, her iki kriterden hangisinin daha önemli olduğunu sorarak ikili karşılaştırmada dilsel terimleri göreceli değere atamak önemlidir. Bu çalışmada, göreceli değer Saaty'nin (1983) 9 yoğunluklu ölçeği kullanılarak belirlenmiştir (Denklem 4.11).

$$\begin{aligned} \tilde{A} &= \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \cdots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ 1/\tilde{a}_{12} & 1 & \cdots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/\tilde{a}_{1n} & 1/\tilde{a}_{2n} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (4.11)$$

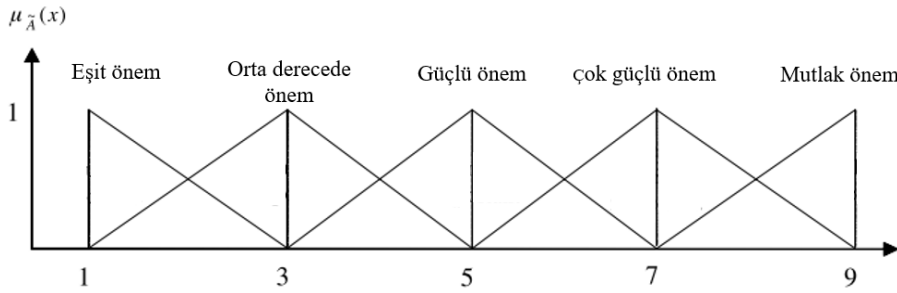
Neresi:

$$\tilde{a}_{ij} = \begin{cases} \tilde{1}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{9} & \text{Kriter } i, \text{ kriter } j\text{'ye göre göreceli olarak önemlidir,} \\ 1, i=j, & \\ \tilde{1}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{9}^{-1} & \text{Kriter } i, \text{ kriter } j\text{'ye göre göreceli olarak daha az önemlidir,} \end{cases} \quad (4.12)$$

Tablo 4.7 ve Şekil 4.11 sırasıyla AHP ve FAHP'nin göreceli önem ölçeğini ve iki kriterin karşılaştırılması için dilbilim değişkenlerinin üyelik fonksiyonunu göstermektedir.

Önem için dilsel ölçek	Net sayılar (AHP)	Üçgen sayılar	bulanık	Üçgensel bulanık sayıların tersi
Eşit önem	1	(1, 1, 1)		(1, 1, 1)
Ara değer	2	(1, 2, 3)		(1/3, 1/2, 1)
Düşük veya orta derecede önem	3	(2, 3, 4)		(1/4, 1/3, 1/2)
Ara değer	4	(3, 4, 5)		(1/5, 1/4, 1/3)
Temel veya güçlü önem	5	(4, 5, 6)		(1/6, 1/5, 1/4)
Ara değer	6	(5, 6, 7)		(1/7, 1/6, 1/5)
Yerleşik veya Çok güçlü Önem	7	(6, 7, 8)		(1/8, 1/7, 1/6)
Ara değer	8	(7, 8, 9)		(1/9, 1/8, 1/7)
Aşırı veya mutlak önem	9	(9, 9, 9)		(1/9, 1/9, 1/9)

Tablo 4.7: AHP ve FAHP'nin Göreceli Önem ölçeği



Şekil 4.11: İki kriteri karşılaştırmak için dilsel değişkenlerin üyelik fonksiyonu

Adım 2. Geometrik ortalama tekniği kullanılarak Buckley yöntemi ile her bir kriterin bulanık geometrik ortalaması ve bulanık ağırlıkları aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$\tilde{r}_i = (\tilde{a}_{i1} \otimes \tilde{a}_{i2} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{in})^{\frac{1}{n}}, \quad (4.13)$$

Denklem 4.13'te yer alan $\tilde{a}_{in}$, i kriterinin n kriteri ile bulanık karşılaştırma değeridir. Böylece, $\tilde{r}_i$, i kriterinin her bir kriterle bulanık karşılaştırma değerinin geometrik ortalamasıdır.

Bu çalışmada, Togo'da çeltik yetiştiriciliği alanında çalışan beş uzmandan faktörlerin ikili karşılaştırmasını yapmaları istenmiştir. İlk olarak, alt faktörlerin

kriterleri karşılaştırılmakta, daha sonra alt faktörler ve son olarak faktörlerin kendileri de karşılaştırılmaktadır. Bu nedenle, sentetik ikili karşılaştırma matrisinin elemanlarını hesaplamak için aşağıdaki gibi geometrik ortalama yöntemi kullanılmıştır.

$$\tilde{r}_i = (a_{ij}^1 \otimes a_{ij}^2 \otimes a_{ij}^3 \otimes a_{ij}^4 \otimes a_{ij}^5)^{\frac{1}{5}} \quad (4.14)$$

Denklem 4.14'te yer alan 1, 2, ...5 uzman sayısıdır.

AHP tabanlı analizde bir diğer önemli adım, ikili değerlendirmelerin tutarlılığının hesaplanmasıdır. Tutarlılığın, matris derecelendirmelerinin rastgele oluşturulma olasılığını tanımlayan bir tutarlılık oranı (CR) kullanılarak ölçülmesi önerilmektedir. Saaty (1980), tutarlılık oranı 0.10'dan büyük olan matrislerin gözden geçirilmesini önermektedir. Tutarlılık oranının değeri ne kadar yüksek olursa, alternatiflerin yanlış değerlendirilme olasılığı da o kadar yüksek olmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, her bir uzmanın değerlendirmesini doğrulamak için CR kullanılmıştır (Denklem 4.15).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4.15)$$

Denklem 4.15'te yer alan CI, tutarlılık indeksidir ve RI, rastgele oluşturulmuş bir ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılık indeksini temsil eden ve karşılaştırılan kriter (faktör) sayısına bağlı olan rastgele indekstir.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (4.16)$$

Denklem 4.16'de yer alan n kriter (faktör) sayısı ve λ Saaty (1980) tarafından önerildiği gibi tutarlılık vektörünün ortalama değeridir.

Adım 3: bulanık ağırlık hesaplaması

Her bir boyutun ağırlığı aşağıdaki gibi yapılabilir:

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i (\tilde{r}_1 \otimes \dots \otimes \tilde{r}_n)^{-1} \quad (4.17)$$

Denklem 4.17’de yer alan $\tilde{w}_i$, i’inci kriterin bulanık ağırlığıdır. Bir TFN ile belirtilebilir; $\tilde{w}_i = (L_{w_i}, M_{w_i}, U_{w_i})$. Burada: L_{w_i} , M_{w_i} ve U_{w_i} , i’nci kriterin bulanık ağırlığının alt, orta ve üst değerlerini temsil etmektedir.

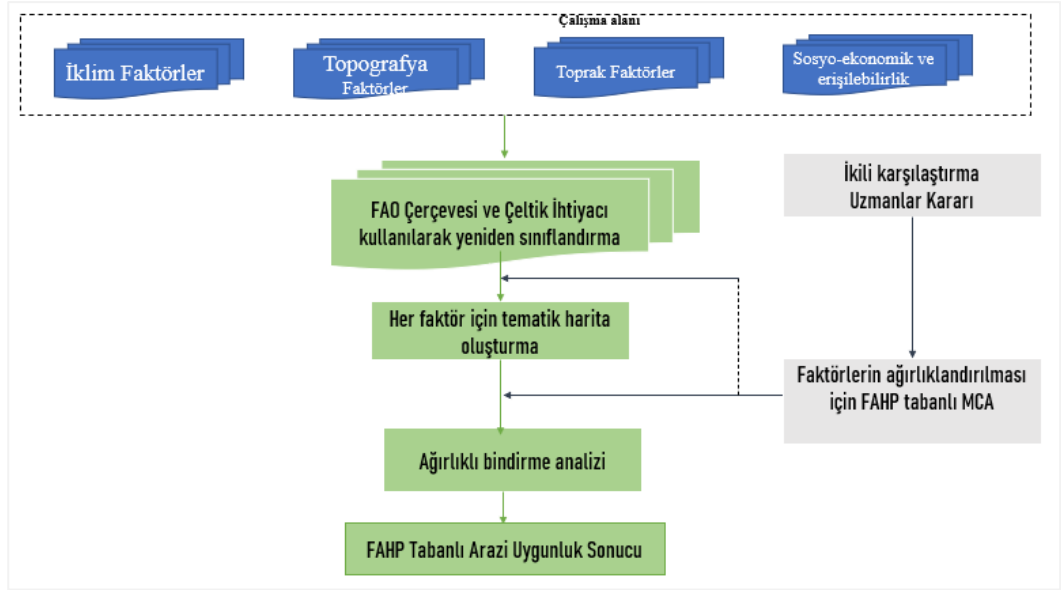
Adım 4. Bulanık sayının sıralanması.

2. adımın sonucu bulanık bir sayıdır. Bu nedenle, karşılaştırma için bulanık sayılar için bulanık olmayan bir sıralama yönteminin kullanılması gereklidir. Diğer bir deyişle, durulaştırma (defuzzification) prosedürü En İyi Bulanık Olmayan Performans değerini (BNP) bulmaktır. Bulanık sayı $\tilde{r}_i$ 'nin BNP değeri 4.18’deki denklem ile bulunabilir:

$$BNP_{wi} = \frac{[(U_{wi}-L_{wi})+(M_{wi}-L_{wi})]}{3} + L_{wi} \quad (4.18)$$

4.2.2.1.2.5. Arazi uygunluk haritalaması

FAHP yöntemi kullanılarak çeltik ekimi için arazi uygunluğunun haritalanmasındaki ana adımları Şekil 4.12’de gösterilmektedir. Çalışma alanında çeltik bölgelerinin haritalanmasında olduğu gibi çeltik aynı anda yetiştirilmediği için çalışma alanı Maritime ve Plateaux bölgesi olarak ikiye ayrılmıştır. Böylece kullanılan iklim değişkenleri farklı olacaktır. Çeltik ekimi için arazi uygunluk haritalaması için, alt faktör haritalarını üretmek için yeniden sınıflandırılan kriter haritaları ve ilgili kriter ağırlıkları kullanılmıştır. Daha sonra alt faktörlerin tematik haritaları ve bunlara karşılık gelen ağırlıklar faktör haritalarını oluşturmak için kullanılmıştır. Son olarak, faktörlerin ve bunlara karşılık gelen ağırlıkların tematik haritaları kullanılarak nihai arazi uygunluk haritaları elde edilmiştir. Katmanların ağırlıklandırılması için ArcGIS 10.8 kapsamındaki ağırlıklı kaplama (WO) yönteminin kullanıldığına dikkat edilmelidir.



Şekil 4.12: FAHP yaklaşımını kullanarak arazi uygunluk haritalaması için iş akışı

4.2.2.2. Çeltik ekimi için makine öğrenimine (MaxEnt) dayalı arazi uygunluk analizi metodolojisi

Agroekoloji sistemlerin modellenmesini destekleyebilen yüksek performanslı hesaplama algoritmaları nedeniyle, arazi uygunluk analizi için makine öğrenimi yöntemi son yıllarda büyük ilgi görmüştür. Bu nedenle makine öğrenimi, daha önce bahsedilen tündengelim yaklaşımlarından farklı olarak veri odaklı tümevarım modellerini kullanır. Literatürde, arazi uygunluk değerlendirmesine yönelik en yaygın makine öğrenimi yaklaşımı, sosyoekonomik ortak değişkenler de dahil olmak üzere mevcut tüm arazi kullanım verilerini kullanarak MaxEnt algoritması ile eğitilen modellere dayanmaktadır. Açıklandığı üzere bu yaklaşım, çiftçilerin en iyi yetiştirme koşullarına sahip oldukları alanlarda ürün yetiştirdikleri varsayımına dayanmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, çeltik ekimi için arazi uygunluğunu değerlendirmek için varlık verilerine dayalı MaxEnt algoritması kullanılmıştır.

4.2.2.2.1. MaxEnt tabanlı çeltik arazi uygunluk değerlendirmesi için veri kaynakları

4.2.2.2.1.1. Çeltik varlığı verileri

Bu bölümde kullanılan çeltik varlığı verileri, çeltik yetiştirme alanlarının haritalanması için kullanılan verilerdir. Böylece Plateaux ve Maritime

bölgelerindeki çeltik verileri arasında bir ayrım yapılmıştır. Bu ayrım, bu bölgelerde farklı çeltik yetiştirme sistemlerinin geliştirilmiş olmasından kaynaklanmaktadır.

4.2.2.2.1.2. Çevresel değişkenler

Ekolojik niş modelleme yöntemine dayalı arazi uygunluk analizinde en önemli adımlardan biri bağımlı değişkenlerin belirlenmesi ve seçilmesidir. Bu nedenle, ortak değişkenlerin tanımlanması esas olarak mahsulün gereksinimlerine dayanmaktadır. Bunu yapmak için, çeltik ekimi için arazinin uygunluğunun değerlendirilmesinde kullanılan ana değişkenlere ilişkin bir literatür analizi yapılmıştır. Toplam 42 ortak değişken seçilmiştir (Tablo 4.8).

	Değişken kodu	Değişken tanıtım	Kaynak	Uzamsal çözünürlük/Birim
İklimsel değişkenler				
1	BIO1	Yıllık ortalama sıcaklık	www.worldclim.org	1 km (°C)
2	BIO2	Sıcaklık değişim aralığı	www.worldclim.org	1 km (°C)
3	BIO3	İzotermalite (Bio2/Bio7) (*100)	www.worldclim.org	1 km (%)
4	BIO4	Mevsimsel sıcaklık	www.worldclim.org	1 km (°C)
5	BIO5	En sıcak ayın maksimum sıcaklığı	www.worldclim.org	1 km (°C)
5	BIO6	En soğuk ayın minimum sıcaklığı	www.worldclim.org	1 km (°C)
7	BIO7	Yıllık sıcaklık oranı (Bio5-Bio6)	www.worldclim.org	1 km (°C)
8	BIO8	En nemli çeyreğin ortalama sıcaklığı	www.worldclim.org	1 km (°C)
9	BIO9	En kurak çeyreğin ortalama sıcaklığı	www.worldclim.org	1 km (°C)
10	BIO10	En sıcak çeyreğin ortalama sıcaklığı	www.worldclim.org	1 km (°C)
11	BIO11	En soğuk çeyreğin ortalama sıcaklığı	www.worldclim.org	1 km (°C)
12	BIO12	Yıllık yağış	www.worldclim.org	1 km (mm)
13	BIO13	En nemli aydaki yağış miktarı	www.worldclim.org	1 km (mm)
14	BIO14	En kurak aydaki yağış miktarı	www.worldclim.org	1 km (mm)
15	BIO15	Mevsimsel yağış miktarı (Değişim katsayısı)	www.worldclim.org	1 km (mm)
16	BIO16	En nemli çeyreğin yağış miktarı	www.worldclim.org	1 km (mm)
17	BIO17	En kurak çeyreğin yağış miktarı	www.worldclim.org	1 km (mm)
18	BIO18	En sıcak çeyreğin yağış miktarı	www.worldclim.org	1 km (mm)
19	BIO19	En soğuk çeyreğin yağış miktarı	www.worldclim.org	1 km (mm)
Tarımsal su verimliliği ve toprak su içeriği değişkenleri				
20	AETI	Gerçek evapo-transpirasyon ve durdurma	https://wapor.apps.fao.org/home/1	250 m (mm)
21	GBWP	Brüt biyokütle Su verimliliği	https://wapor.apps.fao.org/home/1	250 m (kg/m ³)
Toprak kimyasal özellik değişkeni				
22	CEC	Kasyon değişim kapasitesi	https://isda-africa.com	30 m (cmol/kg)
23	TPOT	Değiştirilebilir K	https://isda-africa.com	30 m (cmol/kg)
24	NTO	Toplam azot	https://isda-africa.com	30 m (g/kg)
25	SOC	Toprak organik karbonu	https://isda-africa.com	30 m (g/kg)
26	PH	Sudaki toprak pH'ı	https://isda-africa.com	30 m (index)

27	TPHOS	Toplam fosfor	https://isda-africa.com	30 m (mg/kg)
Toprak fiziksel özellik değişkenleri				
28	SAND	Toprak tekstür fraksiyonu kum	https://isda-africa.com	30 m (%)
29	SILT	Toprak tekstür fraksiyonu silt	https://isda-africa.com	30 m (%)
30	CLAY	Toprak tekstür fraksiyonu kil	https://isda-africa.com	30 m (%)
31	TEXT	Doku	https://isda-africa.com	30 m (factor)
32	BEDROCK	Anakaya	https://isda-africa.com	30 m (cm)
33	DEM	Yükseklik	https://earthexplorer.usgs.gov/GEE'ile	30 m (m)
34	FACC	Akış birikimi	ArcGIS'te Hesaplanmış	30 m (factor)
35	SLOPE	Eğim	ArcGIS'te Hesaplanmış	30 m (%)
36	TWI	Topografik ıslaklık indeksi	ArcGIS'te Hesaplanmış	30 m (index)
37	ASPECT	Bakı	ArcGIS'te Hesaplanmış	30 m (°)
38	BLD	Yığın yoğunluğu	https://isda-africa.com	30 m (g/cc)
Arazi kullanımı ve arazi örtüsü Değişken				
39	LULC	Arazi kullanımı ve arazi örtüsü	https://isda-africa.com	30 m (factor)
Sosyo ekonomik ve erişilebilirlik Değişken				
40	POP	Nüfus yoğunluğu	CIESIN, 2018 GEE'ile	1 km (persons/km2)
41	DPW	Kalıcı Suyun Ökliden uzaklığı	ArcGIS'te Hesaplanmış	30 m (m)
42	DTR	Yol ağının ökliden uzaklığı	ArcGIS'te Hesaplanmış	30 m (m)

Tablo 4.8: MaxEnt yöntemine dayalı arazi uygunluk modellemesi için kullanılan değişken

4.2.2.2.2. Arazi uygunluk modellemesi

4.2.2.2.2.1. MaxEnt algoritmasına genel bakış

Maksimum entropi modellemesi anlamına gelen MaxEnt, bilinen konumların çevresel değişkenlerinin sınırlarını göz önünde bulundururken, en fazla yayılmış veya tekdüze olmaya en yakın dağılımı bularak tür oluşumlarını tahmin etmektedir. MaxEnt mevcudiyet verilerini kullanır ve algoritma bir türün bulunduğu yerleri çalışma bölgesinde mevcut olan tüm ortamlarla karşılaştırır. Bu mevcut ortamları, çalışma alanı boyunca arka plan noktaları olarak adlandırılan birçok noktayı örnekleyerek tanımlamaktadır. Bir türün potansiyel dağılımını hesaplamak için MaxEnt önce iki olasılık yoğunluğu hesaplamaktadır. Tüm mevcudiyet noktaları için, olasılık yoğunluğu, modeldeki tüm çevresel değişkenlerin bu noktaların aralığı üzerindeki göreceli olasılığını tanımlamaktadır. MaxEnt daha sonra bu iki olasılık yoğunluğu arasındaki oranı hesaplar ve bu da çalışma alanındaki her nokta için bir türün varlığı için göreceli çevresel uygunluğu vermektedir. MaxEnt, toplam

çevrenin çevresel özellikleri ile türün mevcut olduğu bilinen yerlerin özellikleri arasındaki benzerliği maksimize eden dağılımı seçmektedir. Bu, MaxEnt'in ham çıktısı olarak bilinmektedir (Elith et al., 2011).

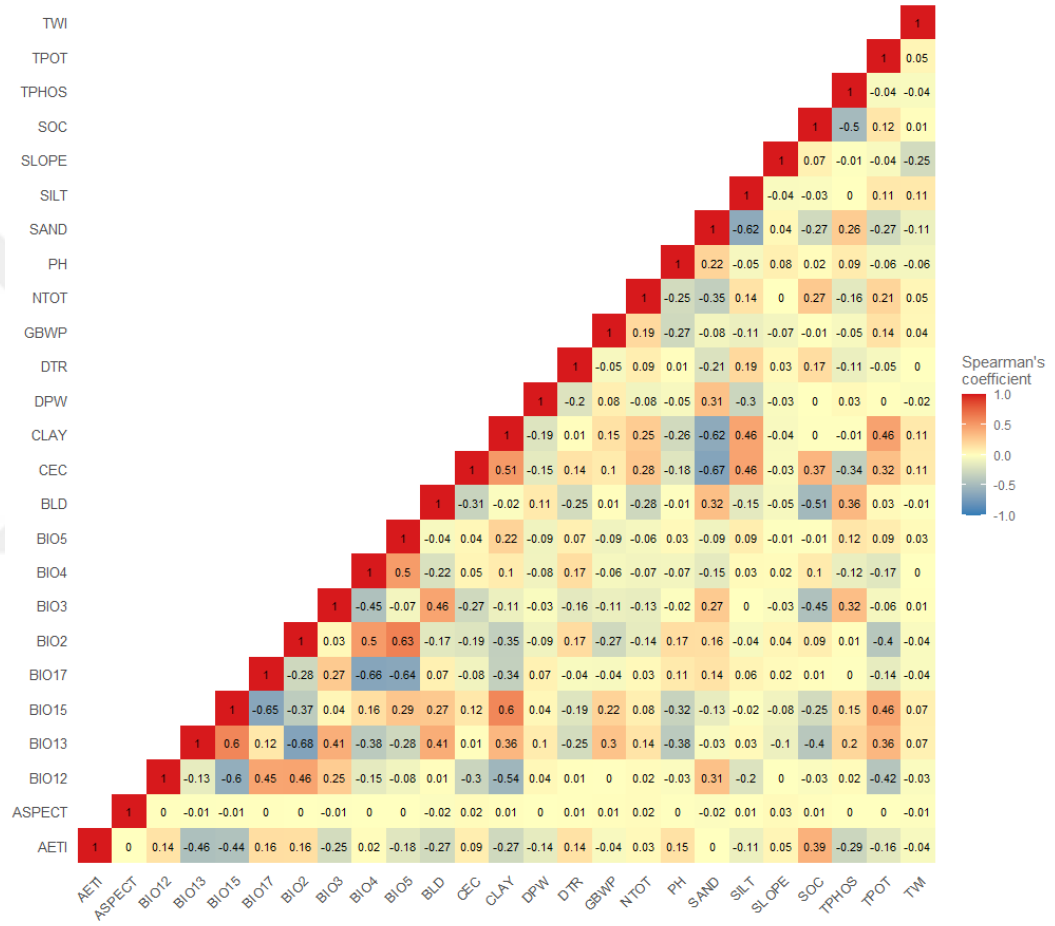
4.2.2.2.2. MaxEnt yaklaşımı için iş akışı

Bir Makine Öğrenimi algoritmasına dayalı modellemenin ilk adımı, eğitim ve doğrulama verilerini (bu durumda çeltik varlığı verileri) temizlemektir. Amaç, oluşumun çözünürlüğü ile çevresel faktörlerin veya ortak değişkenlerin çözünürlüğü arasındaki veri doğruluğunu eşleştirmektir. Bu çalışmada, bu amaçla “SDMtune” paketindeki “thinData” işlevi kullanılmıştır (Vignali et al. 2020).

İkinci adım değişken (Bu durumda çevresel değişkenler) seçimleridir. Modeli eğitmek için kullanılan çevresel değişkenler yüksek oranda ilişkili olduğunda, model çıktısını, özellikle de değişkenlerin göreceli önemini ve bunların yanıt eğrilerini yorumlamak zordur. Bu nedenle yaygın bir uygulama, aralarında doğrusallığın önceden tanımlanmış bir eşiğin altına düştüğü bir değişken alt kümesi seçmektir. Yüksek ilişkili değişkenleri elemek için makul bir yaklaşım, seçimi uzman bilgisine dayandırmak, yani hedef türler için ekolojik olarak anlamlı olması en muhtemel çevresel değişkeni tutmaktır. Bu bilinmediğinde, alternatif bir yaklaşım “veri odaklı” değişken seçimidir. Bu yaklaşım, yüksek düzeyde ilişkili olanlar arasından en yüksek açıklayıcı değere sahip değişkeni seçmek için verilerde bulunan bilgileri kullanmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada veriye dayalı (veri odaklı) yaklaşım kullanılmıştır. “SDMtune” paketindeki VarSel işlevi kullanılmıştır. İşlev birkaç adımda yinelenir: Eğitilmiş bir modelden başlayarak, en önemli olarak sıralanan değişkenin, belirli bir korelasyon kriteri (örneğin, Spearman's rho) ve korelasyon eşiğini kullanarak diğer değişkenlerden herhangi biri ile ilişkili olup olmadığını kontrol etmektedir (Vignali et al., 2020). Eğer öyleyse, tam modelden başlayarak bir dışarıda bırakılan Jackknife testi gerçekleştirilir ve tüm ilişkili değişkenler arasında eğitim veri setinde en az model performansını düşüren model atılmaktadır. Bu değişkeni olmayan yeni bir model daha sonra eğitilir ve yüksek ilişkili değişkenler için tekrar kontrol edilmektedir. İşlem, tutulan tüm değişkenler arasındaki korelasyonlar önceden tanımlanmış

eşiğin altına düşene kadar tekrarlanmaktadır. Bu çalışmada, $|r| = 0,75$ 'lik bir kesme eşiği kullanılmıştır.

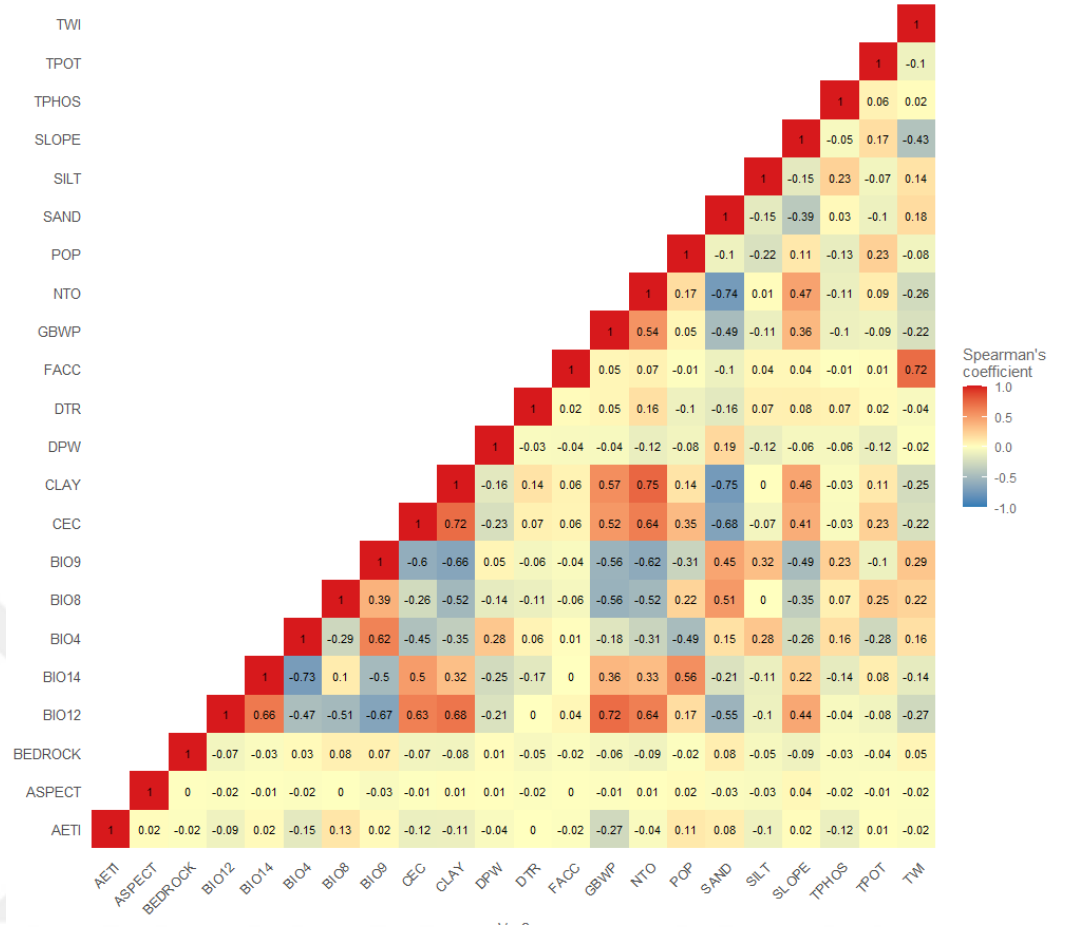
Şekil 4.13 ve 4.14, sırasıyla Plateaux ve Maritime bölgeleri için VarSel fonksiyonu kullanıldıktan sonra seçilen değişkenlerin (Tablo 4.9 ve 4.10) korelasyonlarını göstermektedir.



Şekil 4.13: Maritime bölgesi için seçilen değişkenlerin korelasyonu

Değişken kodu	Değişken tanıtım	Kaynak	Uzamsal çözünürlük/ Birim
İklimsel değişkenler			
1	BIO2	Sıcaklık değişim aralığı	www.worldclim.org 1 km (°C)
2	BIO3	İzotermalite (Bio2/Bio7) (*100)	www.worldclim.org 1 km (%)
3	BIO4	Mevsimsel sıcaklık	www.worldclim.org 1 km (°C)
4	BIO5	En sıcak ayın maksimum sıcaklığı	www.worldclim.org 1 km (°C)
5	BIO12	Yıllık yağış	www.worldclim.org 1 km (mm)
6	BIO13	En nemli aydaki yağış miktarı	www.worldclim.org 1 km (mm)
7	BIO15	Mevsimsel yağış miktarı (Değişim katsayısı)	www.worldclim.org 1 km (mm)
8	BIO16	En nemli çeyreğin yağış miktarı	www.worldclim.org 1 km (mm)
9	BIO17	En kurak çeyreğin yağış miktarı	www.worldclim.org 1 km (mm)
Tarımsal su verimliliği ve toprak su içeriği değişkenleri			
10	AETI	Gerçek evapo-transpirasyon ve durdurma	https://wapor.apps.fao.org/home/1 250 m (mm)
11	GBWP	Brüt biyokütle Su verimliliği	https://wapor.apps.fao.org/home/1 250 m (kg/m ³)
Toprak kimyasal özellik değişkeni			
12	CEC	Kasyon değişim kapasitesi	https://isda-africa.com 30 m (cmol/kg)
13	TPOT	Değiştirilebilir K	https://isda-africa.com 30 m (cmol/kg)
14	NTO	Toplam azot	https://isda-africa.com 30 m (g/kg)
15	SOC	Toprak organik karbonu	https://isda-africa.com 30 m (g/kg)
16	PH	Sudaki toprak pH'ı	https://isda-africa.com 30 m (indeks)
17	TPHOS	Toplam fosfor	https://isda-africa.com 30 m (mg/kg)
Toprak fiziksel özellik değişkenleri			
18	SAND	Toprak tekstür fraksiyonu kum	https://isda-africa.com 30 m (%)
19	SILT	Toprak tekstür fraksiyonu silt	https://isda-africa.com 30 m (%)
20	CLAY	Toprak tekstür fraksiyonu kil	https://isda-africa.com 30 m (%)
21	TEXT	Doku	https://isda-africa.com 30 m (faktör)
22	SLOPE	Eğim	ArcGIS'te Hesaplanmış 30 m (%)
23	TWI	Topografik ıslaklık indeksi	ArcGIS'te Hesaplanmış 30 m (indeks)
24	ASPECT	Aspekt	ArcGIS'te Hesaplanmış 30 m (°)
25	BLD	Yığın yoğunluğu	https://isda-africa.com 30 m (g/cc)
Sosyo ekonomik ve erişilebilirlik Değişken			
26	DPW	Kalıcı Suyun Öklidyen uzaklığı	ArcGIS'te Hesaplanmış 30 m (m)
27	DTR	Yol ağının öklidyen uzaklığı	ArcGIS'te Hesaplanmış 30 m (m)

Tablo 4.9: Maritime bölgesi için seçilen değişkenler

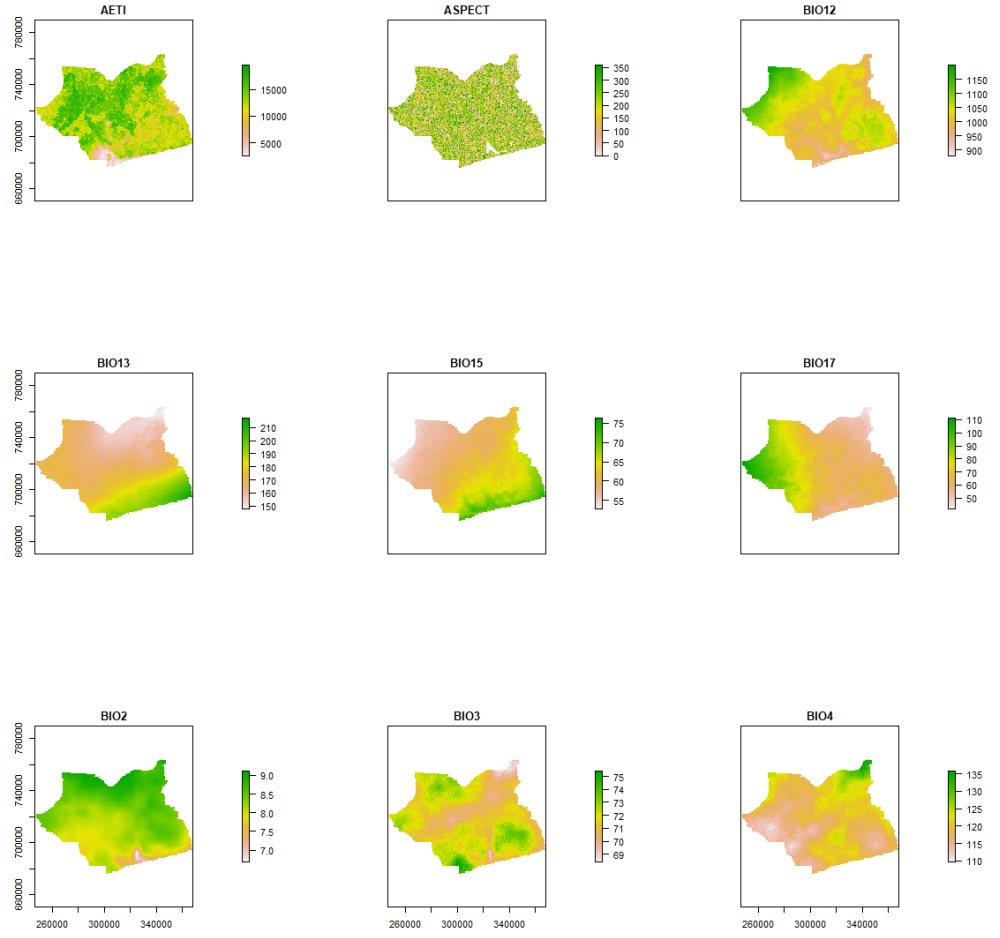


Şekil 4.14: Plateaux bölgesi için seçilen değişkenlerin korelasyonu

	Değişken kodu	Değişken tanıtım	Kaynak	Uzamsal çözünürlük/Birim
İklimsel değişkenler				
1	BIO4	Mevsimsel sıcaklık	www.worldclim.org	1 km (°C)
2	BIO8	En nemli çeyreğin ortalama sıcaklığı	www.worldclim.org	1 km (°C)
3	BIO9	En kurak çeyreğin ortalama sıcaklığı	www.worldclim.org	1 km (°C)
4	BIO12	Yıllık yağış	www.worldclim.org	1 km (mm)
5	BIO14	En kurak aydaki yağış miktarı	www.worldclim.org	1 km (mm)
Tarımsal su verimliliği ve toprak su içeriği değişkenleri				
6	AETI	Gerçek evapo-transpirasyon ve durdurma	https://wapor.apps.fao.org/home/1	250 m (mm)
7	GBWP	Brüt biyokütle Su verimliliği	https://wapor.apps.fao.org/home/1	250 m (kg/m ³)
Toprak kimyasal özellik değişkeni				
8	CEC	Katyon değişim kapasitesi	https://isda-africa.com	30 m (cmol/kg)
9	TPOT	Değiştirilebilir K	https://isda-africa.com	30 m (cmol/kg)
10	NTO	Toplam azot	https://isda-africa.com	30 m (g/kg)
11	SOC	Toprak organik karbonu	https://isda-africa.com	30 m (g/kg)
12	PH	Sudaki toprak pH'ı	https://isda-africa.com	30 m (indeks)
13	TPHOS	Toplam fosfor	https://isda-africa.com	30 m (mg/kg)
Toprak fiziksel özellik değişkenleri				
14	SAND	Toprak tekstür fraksiyonu kum	https://isda-africa.com	30 m (%)
15	SILT	Toprak tekstür fraksiyonu silt	https://isda-africa.com	30 m (%)
16	CLAY	Toprak tekstür fraksiyonu kil	https://isda-africa.com	30 m (%)
17	BEDROCK	Anakaya	https://isda-africa.com	30 m (cm)
18	FACC	Akış birikimi	ArcGIS'te Hesaplanmış	30 m (faktör)
19	SLOPE	Eğim	ArcGIS'te Hesaplanmış	30 m (%)
20	TWI	Topografik ıslaklık indeksi	ArcGIS'te Hesaplanmış	30 m (indeks)
21	ASPECT	Aspekt	ArcGIS'te Hesaplanmış	30 m (°)
Arazi kullanımı ve arazi örtüsü Değişken				
22	LULC	Arazi kullanımı ve arazi örtüsü	https://isda-africa.com	30 m (faktör)
Sosyo ekonomik ve erişilebilirlik Değişken				
23	POP	Nüfus yoğunluğu	CIESIN, 2018 GEE'ile	1 km (kişi/km ²)
24	DPW	Kalıcı Suyun Öklidyen uzaklığı	ArcGIS'te Hesaplanmış	30 m (m)
25	DTR	Yol ağının öklidyen uzaklığı	ArcGIS'te Hesaplanmış	30 m (m)

Tablo 4.10: Plateaux bölgesi için seçilen değişkenler

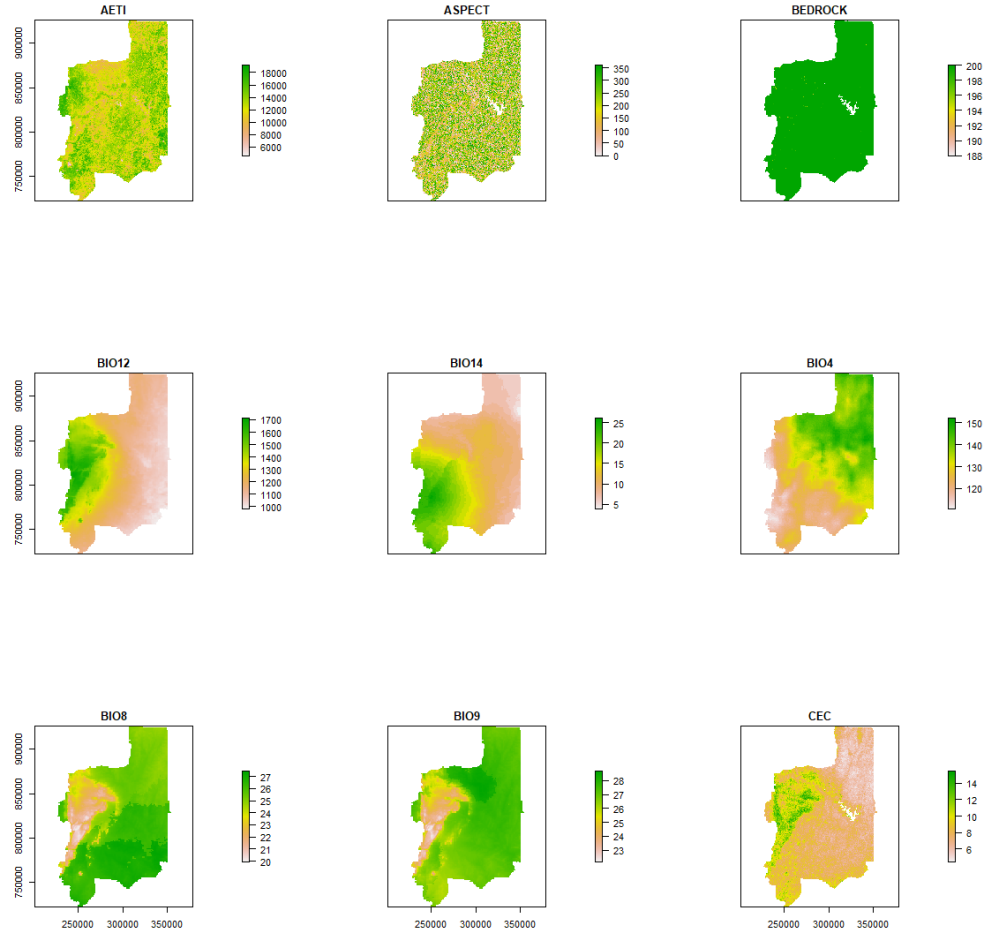
MaxEnt yaklaşımıyla arazi uygunluk modellemesi için kullanılan değişkenlerin haritaları Şekil 4.15, 4.16, 4.17 ve 4.18'de sunulmuştur.



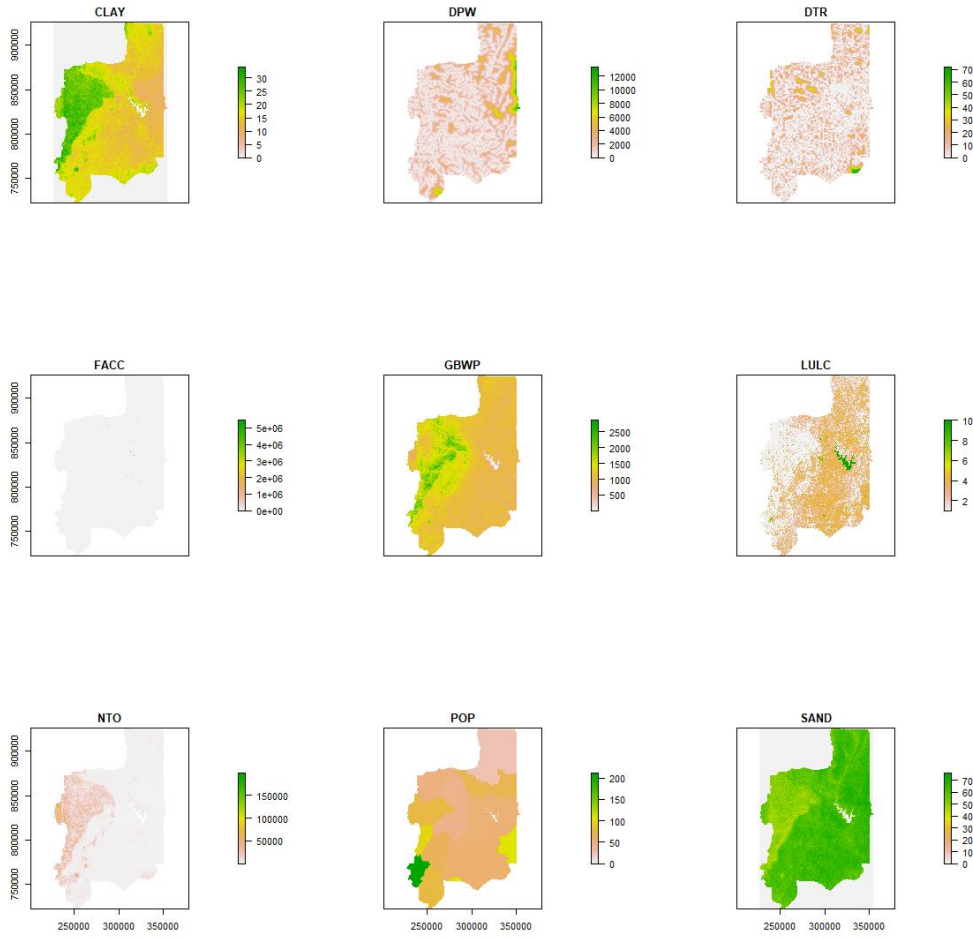
Şekil 4.15: Maritime bölgesinde MaxEnt yaklaşımı ile arazi uygunluk modellemesi için kullanılan bazı değişkenlerin haritaları



Şekil 4.16: Maritime bölgesinde MaxEnt yaklaşımı ile arazi uygunluk modellemesi için kullanılan değişkenlerin haritaları (devam)



Şekil 4.17: Plateaux bölgesinde MaxEnt yaklaşımı ile arazi uygunluk modellemesi için kullanılan bazı değişkenlerin haritaları



Şekil 4.18: Plateaux bölgesinde MaxEnt yaklaşımı ile arazi uygunluk modellemesi için kullanılan bazı değişkenlerin haritaları (devam)

Üçüncü adım, modelin hiper parametrelerini (hyperparameter tuning) ayarlamaktır. “SDMtune” paketinde, MaxEnt algoritmasını kullanırken ayarlanması gereken üç önemli parametre vardır:

- Özellik sınıfları (H, L, LQ, LQH, LQHP, LQHPT). Burada: H = Mentşe (Hengi), L = Doğrusal (Linear), Q = Kuadratik (Quadratic), P = Çarpım (Product) ve T = Eşik (Threshold);
- Düzenleştirme çarpan değerleri;
- Yineleme sayısı.

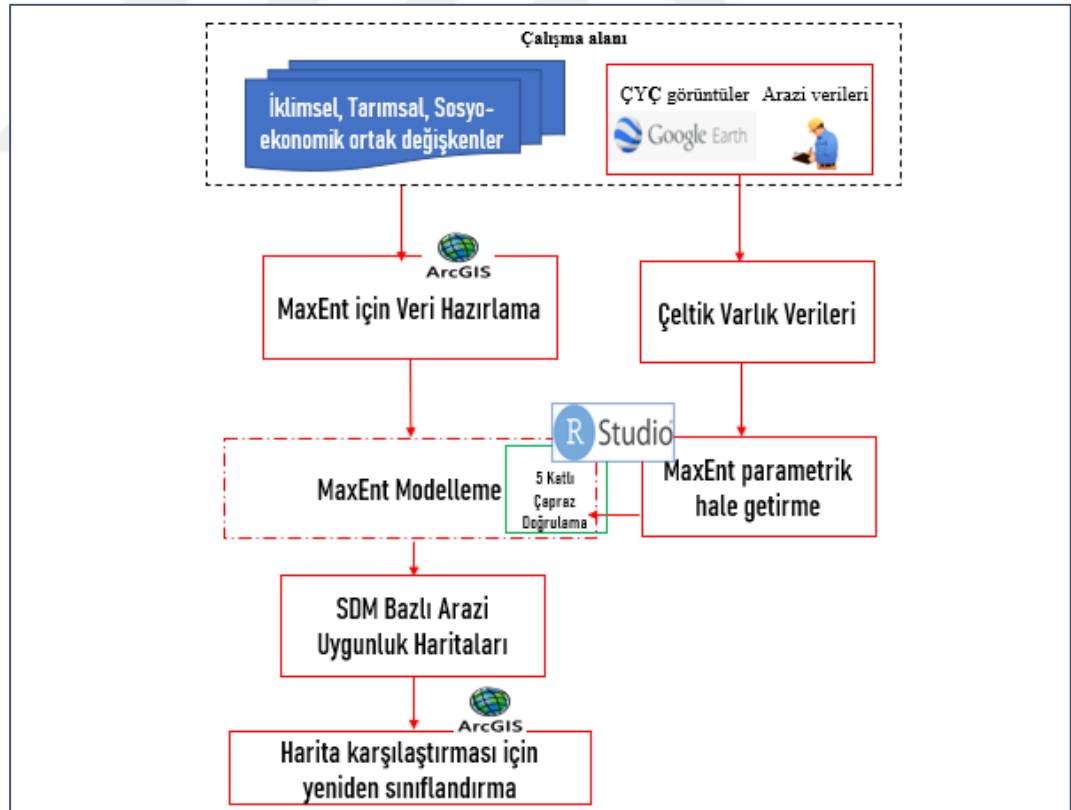
Model hiper parametrelerinin ayarlanması uzun bir süreçtir, çünkü en iyi performans gösteren modeli belirlemek için hiper parametrelerin birçok

kombinasyonunun test edilmesini gerektirmektedir. Bu çalışmada, kullanıcı tanımlı değerler arasından bazı hiper parametrelerin kombinasyonlarını rastgele seçmek için randomSearch fonksiyonunu kullanılmıştır (Bergstra and Bengio, 2012). Tablo 4.11, MaxEnt modelleme için parametre ayarını göstermektedir. Bu çalışmada 10.000 noktanın arka plan verisi olarak kullanıldığını vurgulamak önemlidir. Varlık verilerinde olduğu gibi, arka plan verilerini temizlemek için “thinData” işlevi kullanılmıştır.

Hiper parametre	Atama
Özellik sınıfları	Doğrusal
Düzenleştirme çarpan değerleri	0.8
Yineleme sayısı	500

Tablo 4.11: MaxEnt modelleme için parametre ayarını

MaxEnt algoritmasını kullanarak arazi uygunluğu modellemesine yönelik metodolojik yaklaşım Şekil 4.19’da gösterilmektedir.



Şekil 4.19: MaxEnt yaklaşımı için iş akışı

4.2.2.2.3. Model eğitimi, doğrulama ve model tahminlerinin değerlendirilmesi

Model eğitimi ve doğrulaması için 5 katlı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. Model değerlendirmesi için alıcı işletim karakteristik (Receiver Operating Characteristic-ROC) eğrisinin altındaki alan (Area Under the Curve-AUC) kullanılmıştır.

4.2.3. Arazi uygunluk haritalarının karşılaştırılması için metodoloji

İki yaklaşımın kartografik sonuçlarının karşılaştırılması, iki haritanın üst üste bindirilmesine dayanmaktadır. Haritaların sonuçlarının üst üste bindirilmesine dayanan karşılaştırma yönteminin temel amacı, sınıflar arasındaki benzerlik derecesini belirlemektir. İki yaklaşımın haritalama yöntemleri ve varsayımları farklılık gösterse de, bu iki yaklaşımın arazi uygunluğunu tanımlamak için kullanılıp kullanılamayacağını görmek önemlidir. Böylece bu amaca ulaşmak için Jaccard katsayısı kullanılmıştır. Jaccard benzerlik katsayısı olarak da bilinen Jaccard katsayısı, örnek kümelerinin benzerliğini ölçmek için kullanılan bir istatistiktir (Murphy, 1996).

$$J(A, B) = \frac{A \cap B}{A \cup B} \times 100 \quad (4.19)$$

Denklem 4.19’de yer alan A ve B, karşılaştırılan iki modelin sınıfıdır.

MaxEnt makine öğrenme algoritmasına dayalı modellemenin sonuçları sürekli bir olasılık dağılımıdır. Bu nedenle 0 ile 1 arasında bir değere sahiptir. Literatürde, sürekli olasılık haritalarını çeltik gelişimi için uygun ve uygun olmayan sınıfları belirleyen ikili haritalara dönüştürmek için eşik yöntemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada amaç, MaxEnt sonuçlarını FAHP yönteminin uygunluk sınıflarıyla karşılaştırmak olduğundan, MaxEnt sonuçlarını FAHP sonuçlarına göre yeniden sınıflandırmak için ArcGIS 10.8'deki doğal kırılma seçeneği kullanılmıştır.

4.2.4. İklim değişikliğinin çeltik arazi uygunluğu üzerindeki etkisinin belirlenmesi için metodoloji

Bu bölümde iyi sonuçlar veren haritalama yaklaşımı ele alınacaktır. Bu bölümde, arazinin çeltik ekimi için uygunluğunu zaman içinde yalnızca iklimsel değişkenlerin etkileyeceğini varsaydığımızı vurgulamak önemlidir. Bu nedenle, mevcut duruma kıyasla sadece iklimsel değişkenler değiştirilecektir.

4.2.4.1. Gelecekteki iklim senaryoları

Gelecekteki iklim senaryosu modellemesi için, CGIAR İklim Değişikliği, Tarım ve Gıda Güvenliği Araştırma Programı'ndan elde edilen mekânsal olarak küçültülmüş ve yanlışlığı düzeltilmiş iklim verileri kullanılmıştır (Navarro-Racines et al., 2020). Beklenen 3 iklim senaryosu (RCP 2.6, 4.5 ve 8.5) için birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi Aşama 5'in (CMIP5) 5 Genel Sirkülasyon Model (General Circulation Model -GCM) kullanılmıştır (Tablo 4.12). Bu çalışmada, bu modellerle ilişkili bölgesel değişkenliği ve belirsizlikleri en aza indirmek için GCM'lere bir topluluk yaklaşımı olarak basit bir ortalama uygulanmıştır. Referans dönemine (1970–2000) ek olarak, 2050 (2040–2069) ve 2070 (2060–2089) olmak üzere 2 gelecek dönem göz önünde bulundurulmuştur.

Model	Kurum	Ülke
IPSL-CM5A-LR	Institute Pierre Simon Laplace	Fransa
CESM1(CAM5)	National Centre for Atmospheric Research	Amerika Birleşik Devletleri
BCC_CSM1.1	Beijing Climate Centre	Çin
MIROC-ESM	Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine Earth Science and Technology	Japonya
CSIRO-Mk3.6.0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization	Avustralya

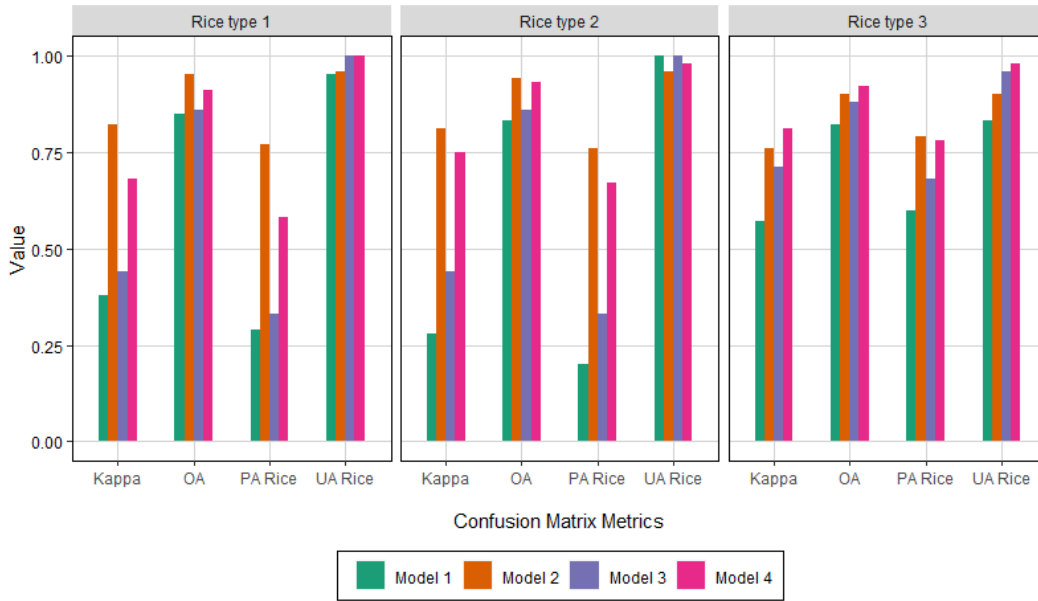
Tablo 4.12: İklim projeksiyonu için kullanılan 5 Genel Sirkülasyon Modeller

5. BULGULAR

5.1. S1, EV ve SAR-VM Verileri Kullanılarak Çeltik Tarlası Haritalama Sonuçları

5.1.1. Sınıflandırma doğruluğu

Her bir çeltik tipi sistemi için modellerin sınıflandırma doğrulukları Kappa, OA, UA ve PA kullanılarak karşılaştırılmıştır (Şekil 5.1). Kappa, OA ve PA dikkate alındığında, tip 1 ve 2 çeltik sistemleri için model 2 (OA = 0,95 ve 0,96; Kappa = 0,82 ve 0,76; PA = 0,77 ve 0,76) en iyi sonucu vermiştir. Öte yandan, UA için model 4 ve 3 aynı şekilde en iyi sonuçları sağlarken, çeltik tipi 2 için model 1 ve 3 aynı şekilde en iyi sonuçları elde etmiştir. Çeltik tipi 3 ile ilgili olarak, OA, Kappa ve UA için model 4 (OA = 0,92; Kappa = 0,81; PA = 0,78) en iyi sonuçları vermiştir. PA için model 2 ve 4 pratik olarak aynı sonuçları vermiştir.



Şekil 5.1: Sınıflandırma doğruluğu sonuçları

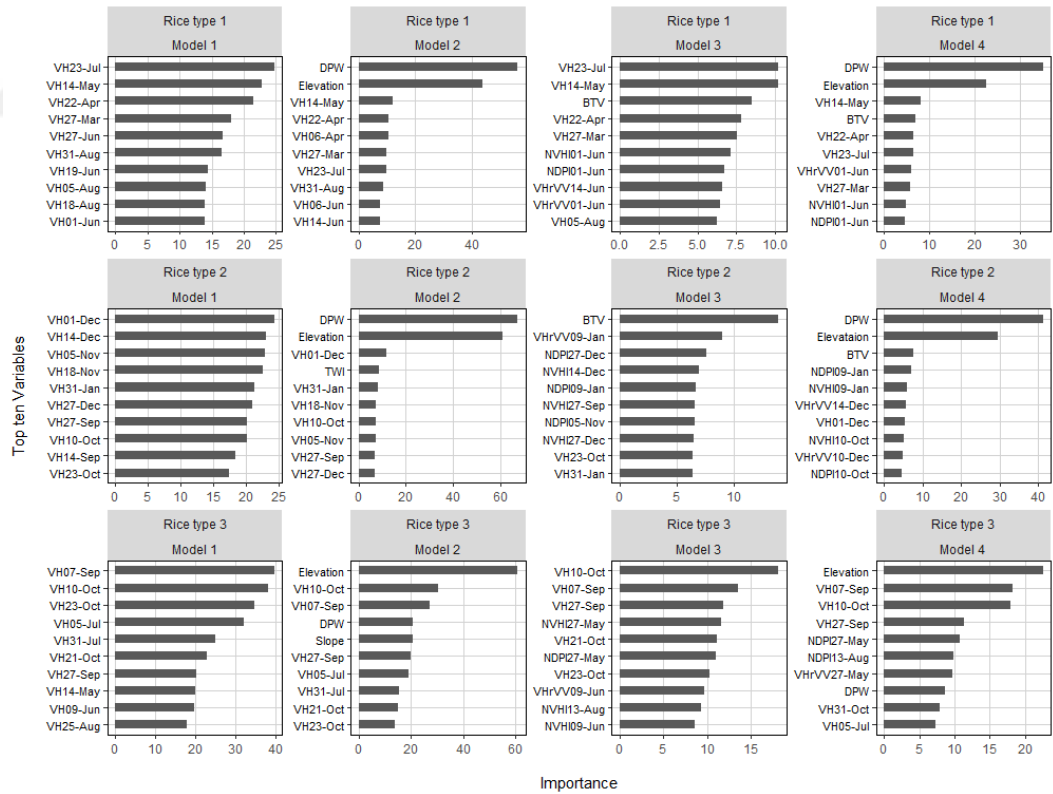
5.1.2. Değişken önem sonuçları

Her çeltik türü için sınıflandırma sonuçlarını en iyi etkileyen ilk 10 değişken Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Şekilde, örneğin, VH22-Apr 22 Nisan 2019'a ait S1 VH görüntüleri anlamına gelmektedir. Genel olarak, değişkenlerin listesi bir modelden

diğerine değişmektedir. Genel olarak, yalnızca S1 VH zaman serisi görüntüleriyle ilgilenen model 1'in önemli değişkenlerinin, model 2, 3 ve 4'ün en iyi 10 değişkenini oluşturmak için SAR-VM'den türetilen en iyi özelliklerle veya en iyi EV ile değiştirildiği belirtilmektedir. Bu nedenle, sıralama için tüm aday değişkenleri bir arada gruplandıran model 4'teki değişkenlerin önem analizine dayalı olarak, önem sırasına göre en iyi altı değişken şunlardır:

- Model 1 için: DPW; Elevation (Yükseklik), VH14-May; BTV (Varyans); VH22-Apr ve VH23-Apr.
- Model 2 için: DPW, Elevation, BTV, NDPI09-Jan, ve NVHI09-Jan.
- Model 3 için: Elevation, VH07-Sep, VH10-Oct, VH27-Sep, NDPI27-May, ve NDPI13-Aug.

EV, bir sınıflandırma stratejisine entegre edildiğinde S1 VH ve SAR-VM değişkenlerine kıyasla daha büyük öneme sahiptir.

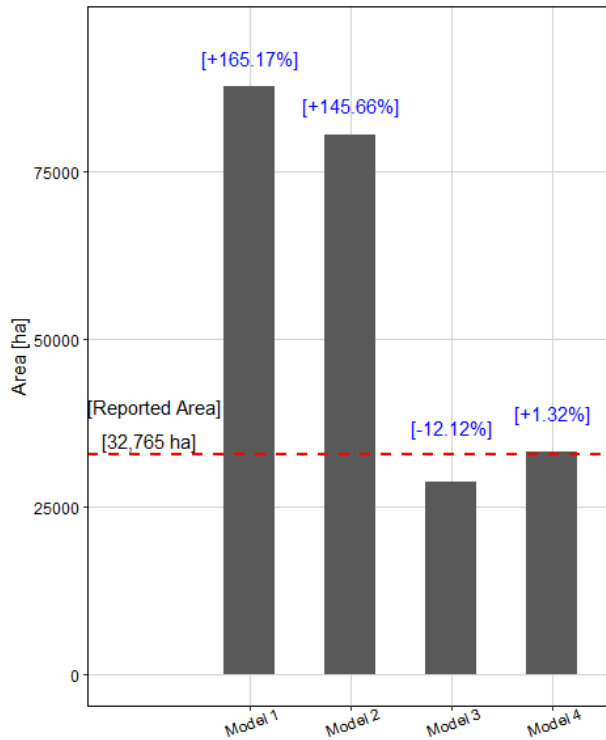


Şekil 5.2: Çeltik sınıflandırmasında en etkili on değişken ve ilgili önem puanı

5.1.3. Tarımsal istatistik verileri ile karşılaştırma

Haritalanan çeltik alanlarının doğruluğunu değerlendirmek için tarımsal istatistik verileri bir karşılaştırma olarak kullanılmıştır. Burada, çeltik tip 1 ve 2'den elde edilen haritalama sonuçları, Maritime bölgesindeki çeltik alanlarının yıllık mekânsal dağılımını elde etmek için bir araya getirilmiştir. Şekil 5.3 ve 5.4, sırasıyla çalışma alanı düzeyinde ve ilçe düzeyinde haritalanan çeltik alanları ile bildirilen alan arasındaki karşılaştırmanın sonuçlarını göstermektedir.

Genel olarak, iki bölge için haritalanan toplam alan ve tarımsal istatistikler karşılaştırıldığında, model 1 ve 2 için sırasıyla %168,17 ve %145,66'lık bir artışla değerlerin büyük ölçüde abartıldığı görülmüştür. Model 3 ve 4'ten elde edilen haritalanmış alan, rapor edilen alana neredeyse eşittir (sırasıyla -12,12% ve +1,32%)



Şekil 5.3: Çalışma alanı düzeyinde haritalanan ve raporlanan verilerin karşılaştırılması

Bununla birlikte, sınıflandırma sonuçlarını ilçe düzeyindeki tarım istatistikleriyle karşılaştırdığımızda, Plateaux bölgesinde, model 3 ve 4 için, Est-Mono bölgesinde sınıflandırılmış alanın fazla tahmin edilmesi ve Danyi ve Wawa bölgelerinde gözlemlenen eksik tahmin dışında, diğer bölgelerde gözlemlenen

tahminlerin kabul edilebilir aralıkta olduğunu fark edilmiştir. Model 1, Danyi ve Wawa bölgelerinde sınıflandırılmış alanı olduğundan fazla tahmin etmektedir. Model 2 ile ilgili olarak, Wawa, Moyen-mono ve Danyi ilçeleri hariç çoğu ilçede alanın olduğundan fazla tahmin edildiği gözlemlenmiştir.

Maritime bölgesinde, rapor edilen alanlara göre, Zio, Ave, Bas-mono ve Yoto ilçeleri başlıca çeltik üretim bölgeleridir. Dolayısıyla, Yoto ve Zio ilçelerinde, model 1, 3 ve 4'ün sonuçları rapor edilen alanlara göre düşük veya neredeyse eşit (Yoto ilçesinde, Model 4) çıkmıştır. Öte yandan, model 2 bu ilçelerdeki alanları olduğundan fazla tahmin etmiştir. Ave ve Bas-mono ilçelerinde, tüm modeller alanları olduğundan düşük tahmin etmiştir.



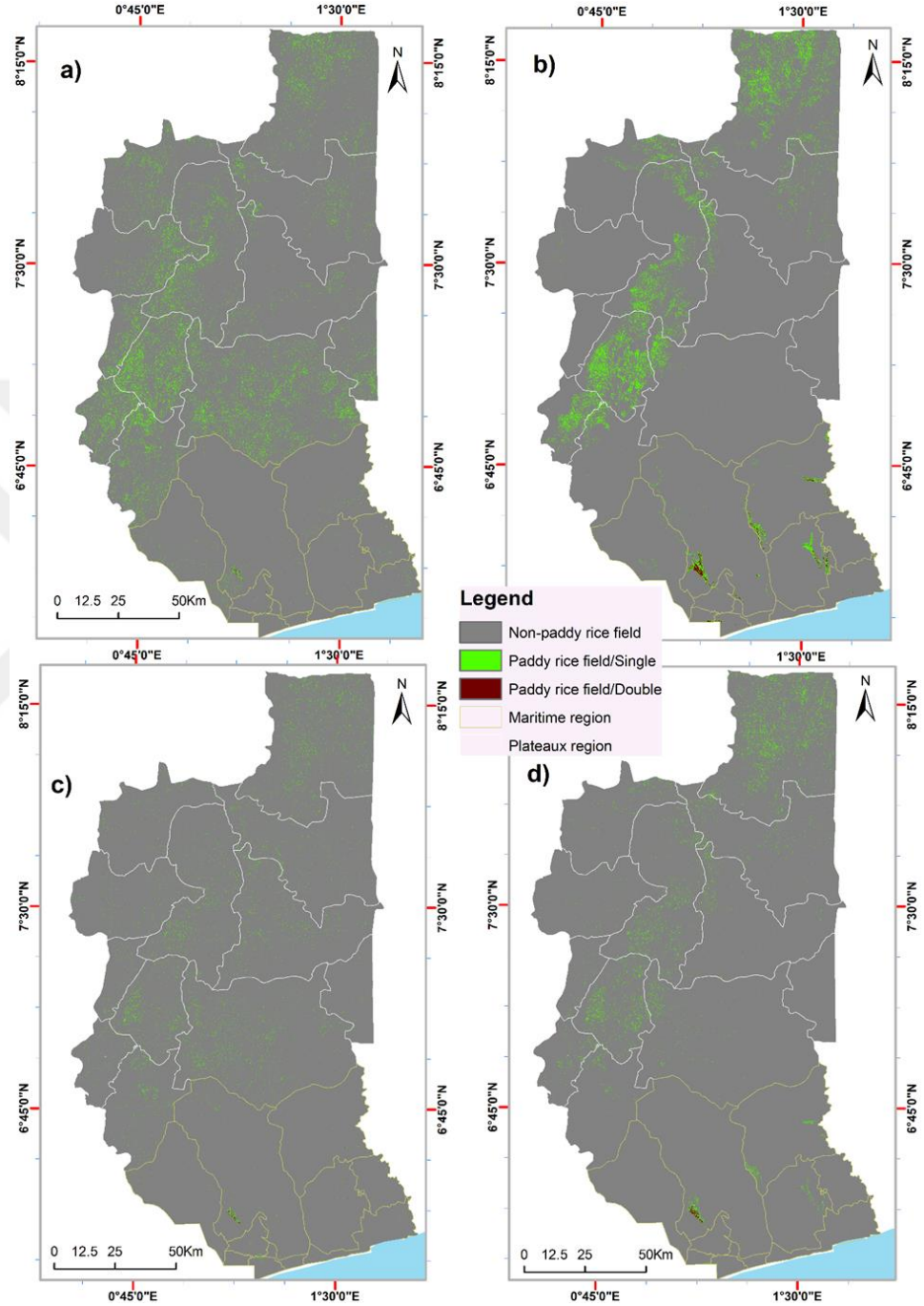


Şekil 5.4: İlçe düzeyinde haritalanan ve raporlanan verilerin karşılaştırılması

5.1.4. Haritaların mekânsal dağılımı ve görsel değerlendirmesi

Dört modelin sonuçları Şekil 5.5'te sunulmuştur. Haritalarda yeşil alanlar tek sezonda ekilen çeltik alanları, koyu kahve alanlar iki sezonda ekilen çeltik alanları (Maritime bölgesinde bulunmaktadır), koyu gri alanlar ise çeltik ekilmeyen alanlar olarak sınıflandırılmıştır. Model 1 ve 2, çeltik alanlarının fazla tahmin edilmesinden dolayı, model 3 ve 4'e göre genellikle daha fazla çeltik alanı tanımlamaktadır. Ancak, Model 1 ve 2'nin sonuçları arasındaki temel fark, Model 2'de çeltik alanlarının mekânsal dağılımının düşük olması ve yüksek pirinç üretim alanlarında yoğunlaşması, Model 1'de ise yüksek olmasıdır. Aynı gözlem, zayıf bir mekânsal dağılıma sahip olan Model 4'ün sonuçları için de yapılmıştır. Öte yandan, Model 2

ve 4 için, özellikle Maritime bölgesinde, alan nehlere ne kadar yakınsa, o kadar fazla çeltik tarlası olarak kabul edilmektedir. Model 1 ve 3'ün sonuçlarında durum böyle değildir.



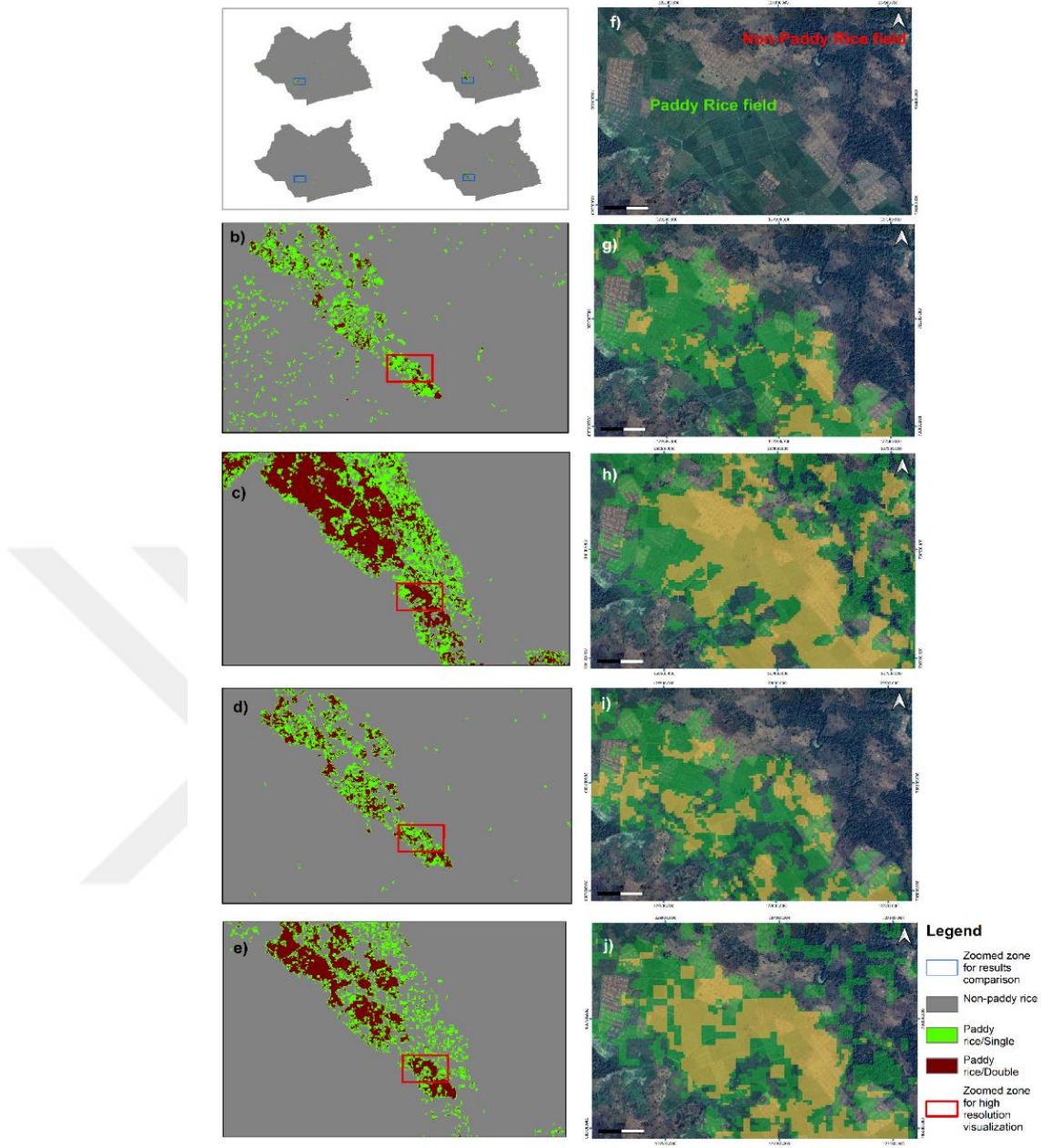
Şekil 5.5: Uygulanan dört model için haritalama sonuçları a) Model 1; b) Model 2; c) Model 3; d) Model 4.

Genel olarak, uzaktan algılamada, büyük ölçekli karmaşık ortamları sınıflandırma görevi tipik olarak karışıklık matrisi ve türetilmiş standart doğruluk

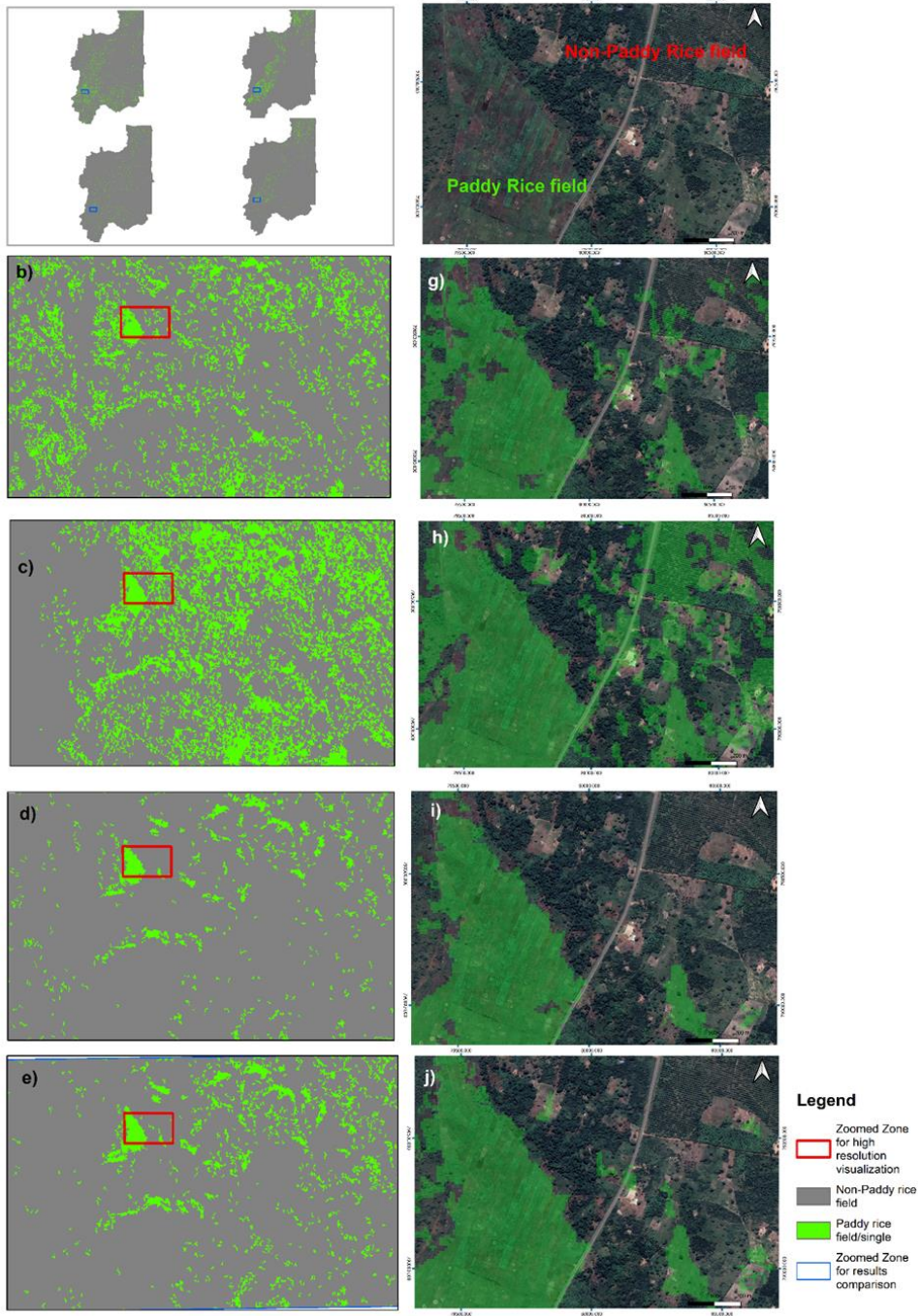
ölçüleri kullanılarak yapılan nicel sınıflandırma değerlendirmelerinde her zaman belirgin olmayan hatalar üretmektedir. Dolayısıyla, bu bölümün temel amacı karışıklık matrisinden türetilen standart doğruluk ölçütlerini sahadaki görsel gerçeklikle yüzleştirmektir. Bunun için bölge başına bir çeltik üretim alanı seçilmiştir. Daha sonra, seçilen bu alanların haritalama sonuçları, Google Earth Pro'nun ilgili yıla ait yüksek çözünürlüklü görüntüleriyle üst üste bindirilmiştir (Şekil 5.6 ve 5.7).

Birinci bölge (Maritime bölgesinde) için, Model 1'de çeltik pirinç tarlalarının yetersiz sınıflandırıldığı açıkça fark edilmiştir. Buna karşılık, Model 2'nin sınıflandırmasını gösteren görüntüde, çeltik tarlalarının aşırı sınıflandırıldığı gözlemlenmiştir. Özellikle, çalılar ve ağaçlar da çeltik tarlaları olarak sınıflandırılmıştır. Model 3 ve 4, diğer modellere kıyasla iyi sınıflandırma göstermiştir. Model 4, süreksiz mekânsal dağılıma sahip çeltik arazilerini belirleme eğilimindedir. Bununla birlikte, bazı sınıflandırma kusurları da vardır. Bu sınıflandırma kusurları, işlem sonrası metodolojiye atfedilebilmektedir.

İkinci bölge (Plateaux bölgesinde) ile ilgili olarak da aynı gözlemler yapılmış olup, Model 2'de iyi sınıflandırılmamış bölgeler diğer mahsuller ve yerleşim alanlarıdır. Plateaux bölgesinde, yüksek bir mahsul çeşitliliği vardır (genellikle çeltik ile aynı ortamı paylaşan tahıllar).



Şekil 5.6: Maritime bölgesi sonuçlarının görsel değerlendirmesi. a) Haritalama sonucu; b, c, d, e sırasıyla model 1, 2, 3 ve 4 için haritalama sonucu üzerinde yakınlaştırılmış alan; f) Çok yüksek uydu görüntüsü; g, h, i, j çok yüksek uydu görüntüsü üzerinde (b, c, d, e) sonucu üzerinde yakınlaştırılmış alan.

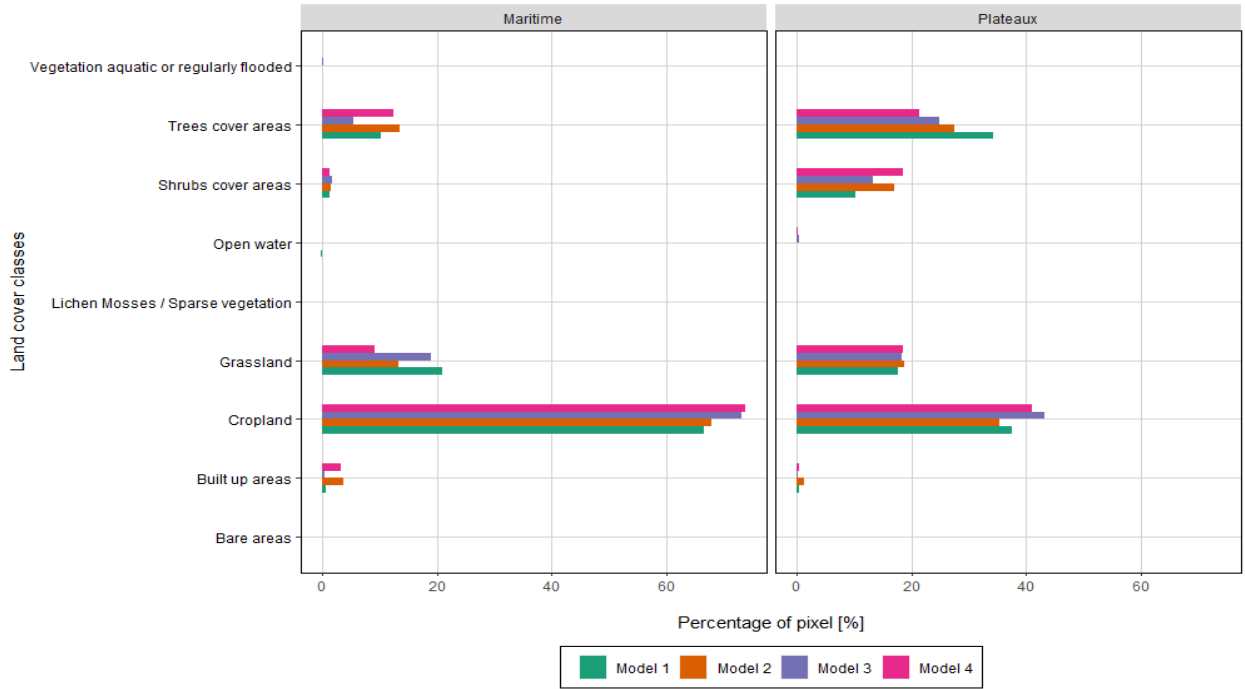


Şekil 5.7: Plateaux bölgesi sonuçlarının görsel değerlendirmesi a) Haritalama sonucu; b, c, d, e) sırasıyla model 1, 2, 3 ve 4 için haritalama sonucu üzerinde yakınlaştırılmış alan; f) Çok yüksek uydu görüntüsü; g, h, i, j) çok yüksek uydu görüntüsü üzerinde (b, c, d, e) sonucu üzerinde yakınlaştırılmış alan.

5.1.5. Tahminler ve ESA CCI arazi örtüsü verileri arasında karşılaştırma

Bu bölümde, tüm modellerden bölgelere göre elde edilen sınıflandırmalar ESA CCI Arazi Örtüsü verileriyle karşılaştırılmıştır. Bunu yapmak için, her modelin çeltik pirinci sınıfı arazi örtüsü verilerinin üzerine bindirilmiştir. Daha sonra çeltik sınıfının çakıştığı arazi örtüsü sınıfları belirlenmiş ve alanlar değerlendirilmiştir. Bu analizde, iyi bir sınıflandırma yapan modelin, çeltik pikselleri arazi örtüsü haritasının ekili alan sınıfında en çok bulunan model olacağı varsayılmıştır. Başka bir deyişle, çeltik pirinç olarak sınıflandırılan ve arazi örtüsü haritasının ekili arazi sınıflarında bulunan bir pikselin çeltik pirinç olma şansı, ağaç örtüsü alanı, yerleşik alan ve çalı örtüsü alanı sınıflarında bulunmasından daha yüksektir.

Çalışmanın iki bölgesinde, sınıflandırma modelleri arasında bir fark olduğunu tespit edilmiştir. Maritime bölgesinde, ekim alanı sınıfını göz önünde bulundurarak, Model 3'ün sırasıyla %43,7, %41, %37,59 ve %35,42'lik bir temsil ile Model 4, 1 ve 2'den daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bununla birlikte, ağaç örtüsü sınıfları dikkate alındığında, Model 1 daha fazla temsil edilmekte, onu sırasıyla %31,17, %27,57, %24,88 ve %21,46'lık yüzdelerle model 2, 3 ve 4 takip etmektedir. Yerleşik alan sınıfı ile ilgili olarak, Model 2 daha fazla temsil edilmektedir. Plateaux bölgesinde, ekili alan sınıfı dikkate alındığında, Model 4'ün sırasıyla %73,82, %73,15, %67,92 ve %66,70'lik bir temsil ile model 3, 2 ve 1'den daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bununla birlikte, ağaç örtüsü sınıfları göz önüne alındığında, Model 2 daha fazla temsil edilmekte ve onu Model 4, 1 ve 3 izlemektedir. Ayrıca, Model 2'deki çeltik piksellerinin %3,8'i yerleşik alan sınıfındadır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8: Tahminler ve CCI Arazi Örtüsü verileri arasındaki karşılaştırma (A=Maritime bölgesi; B = Plateaux bölgesi)

5.2. Çeltik Ekimi İçin Arazi Uygunluk Değerlendirmesinin Sonuçları

5.2.1. FAHP sonuçları

5.2.1.1. FAHP'de yer alan kriterlerin ve faktörlerin önemi

FAHP yaklaşımına dayalı arazi uygunluk değerlendirme yöntemi tamamen alandaki uzmanların değerlendirmelerine bağlıdır. Bu nedenle kriterlerin önemi uzmanların görüşlerine bağlıdır. Bu çalışmada uzmanların değerlendirmesini kolaylaştırmak için kriterler faktörlere göre değerlendirilmiştir. Amaç, değerlendirme sürecinde karışıklığı önlemektir. Burada aynı faktöre (örneğin toprak) ait iki kriterin (örneğin pH ve CEC) değerlendirilmesinin, aynı faktöre ait olmayan iki kriterin (örneğin pH ve ortalama sıcaklık) değerlendirilmesinden daha pratik olacağı varsayılmıştır. Böylece her bir faktöre ait kriterlerin değerlendirilmesinin ardından faktörler kendi aralarında değerlendirilmektedir.

Kriterlerin ve faktörlerin ağırlıklarının hesaplanmasının sonuçları Şekil 5.9'da gösterilmektedir. Uzmanların görüşüne göre, iklim faktörü açısından, ortalama yağış miktarı, çalışma alanında çeltik yetiştiriciliği için ortalama

sıcaklıktan daha önemlidir. Toprak faktörü ile ilgili olarak, toprak tekstürü (doku) kriterlerin en önemlisi olarak sıralanmış ve bunu CEC, pH ve karbon izlemiştir. Sosyo-ekonomik ve erişilebilirlik faktörü için, kalıcı sudan uzaklık (DTW) en önemli faktör olarak kabul edilmiş, bunu nüfus yoğunluğu ve yol ağına uzaklık (DTR) izlemiştir.

Faktörlere bakıldığında, toprak faktörü %36'lık bir ağırlıkla en önemli faktör olarak sıralanmıştır. Bunu %35, %21 ve %8'lik ağırlıklarla iklim, topoğrafik ve sosyo-ekonomik ve erişilebilirlik faktörleri takip etmiştir. Toprak ve iklim faktörlerinin ağırlıkları arasındaki farkın çok büyük olmadığına dikkat edilmelidir.

Faktör	Alt faktör	Kriter	Kriter ağırlık	Kriterlerin sıralaması	Faktör ağırlık	Faktörlerin sıralaması
İklim	Sıcaklık	Büyüme döngüsünün sıcaklık ortalaması (°C)	0.34	2	0.35	2
	Yağış	Büyüme döngüsünün yağış ortalamaları (mm)	0.66	1		
Topografya	Topografya	Eğim (%)	1	–	0.21	3
Toprak	Toprak	Karbon (g/kg)	0.11	4	0.36	1
		Katyon değişim kapasitesi (cmol+/kg)	0.24	2		
		pH	0.19	3		
		Doku	0.46	1		
Sosyo-ekonomik ve erişilebilirlik	Sosyo-ekonomik ve erişilebilirlik	Kalıcı sudan uzaklık-DPW (m)	0.59	1	0.08	4
		Yol ağına uzaklık -DTR (m)	0.16	3		
		Nüfus yoğunluğu	0.25	2		

Şekil 5.9: FAHP yöntemine göre kriterler ve faktörlerin önemi

5.2.1.2. Çalışma alanında çeltik ekimi için arazi uygunluğunun mekânsal dağılımı için FAHP sonucu

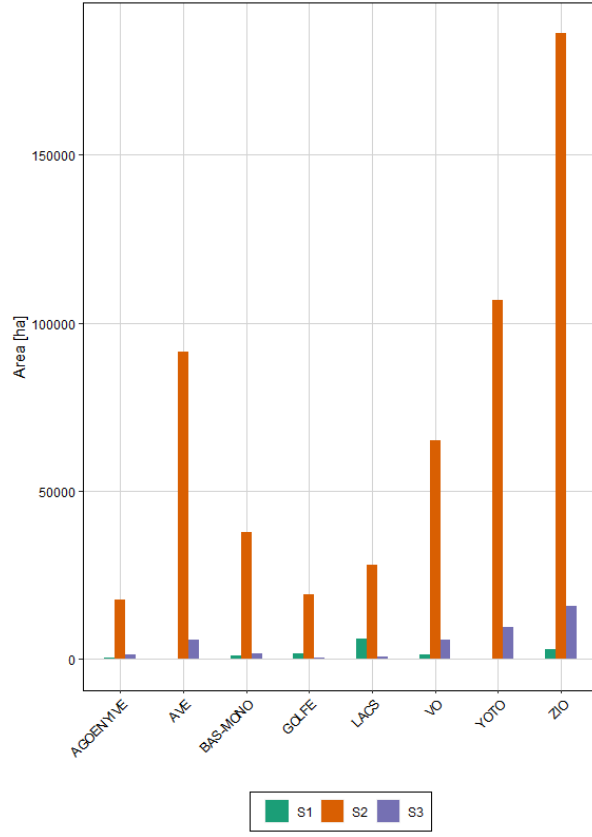
Çeltik ekimi için arazi uygunluk sınıflarını ve ilgili alanlar Tablo 5.1 de gösterilmektedir. Çalışma alanında, Maritime ve Plateaux bölgeleri için sırasıyla %91,8 ve %92,66'lık bir oranla S2 sınıfının daha fazla temsil edildiği tespit edilmiştir. Bunu, Maritime ve Plateaux için sırasıyla %6,67 ve %5,26'lık temsil oranıyla S3 arazi uygunluk sınıfı takip etmektedir. Arazi uygunluk sınıfı S1 çalışma alanında zayıf bir şekilde temsil edilmektedir (Maritime ve Plateaux bölgeleri için sırasıyla %2,24 ve %2,08). Dolayısıyla, çalışma alanı çeltik ekimi için orta düzeyde

uygunluğa sahip arazilerle karakterize edilmektedir. Bu arazi uygunluk sınıfı şu özelliklerle karakterize edilmektedir: Büyüme döngüsünün ortalama yağışı 70 ila 120 mm arasında; büyüme döngüsünün ortalama sıcaklığı 26 ila 30°C arasında; L ve SCL tipi tekstüre sahip topraklar; 16 ila 24 cmol/kg arasında CEC; 5 ila 5,5 arasında pH; 3 ila 5 arasında organik karbon; 3 ila %5 arasında eğim ve 1 ila 2 km arasında DTW değişmektedir. FAO tanımına göre bu araziler, çeltik ekimi için genel olarak orta derecede şiddetli sınırlamalara sahip arazilerdir. Bu sınırlamalar verimliliği düşürmektedir. Bu nedenle, bu arazilerde elde edilen verim genellikle S1 sınıfları altında elde edilenlerden daha düşüktür.

Uygunluk sınıfı	Maritime bölgesi		Plateaux bölgesi		Toplam	
	Alan (hektar)	Alan (%)	Alan (hektar)	Alan (%)	Alan (hektar)	Alan (%)
Çok Uygun	13631,22	2,24	34091,82	2,02	47723,04	2,08
Orta Düzeyde Uygun	553155,39	91,08	1572592,9	93,23	2125748,3	92,66
Marjinal Olarak Uygun	40533,66	6,67	80177,13	4,75	120710,79	5,26

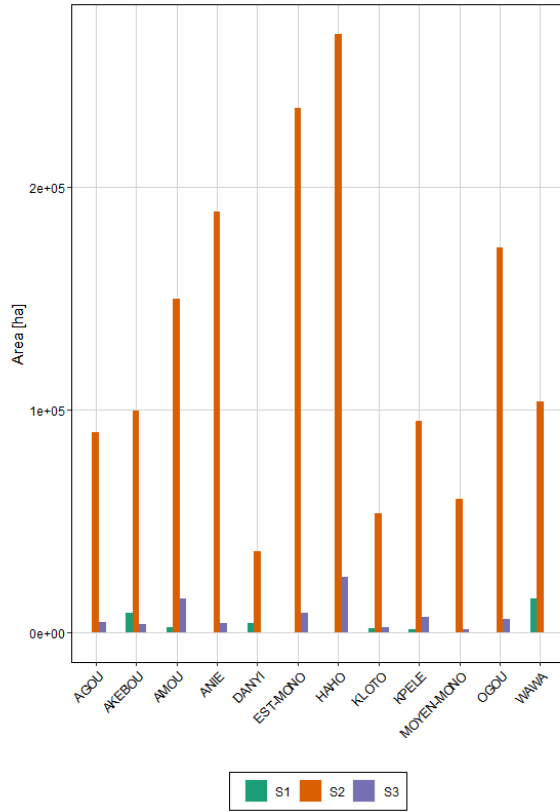
Tablo 5.1: FAHP yöntemi ile çeltik ekimi için arazi uygunluk sınıfları ve ilgili alanlar

İlçeler düzeyinde arazi uygunluk sınıflarının mekânsal dağılımı ile ilgili olarak, Maritime bölgesinde, S1 sınıfı Lacs, Zio, Golfe, Vo ve Bas-Mono ilçelerinde 6097,14 hektar, 2965,68 hektar, 1634,58 hektar, 1412,28 hektar ve 918,36 hektarlık alanlarla daha fazla temsil edilmektedir. S2 sınıfıyla ilgili olarak, Zio, Yoto, Avé ve Vo ilçelerinde daha fazla temsil edilmektedir. Aynı eğilim S3 sınıfı için de gözlenmektedir (Şekil 5.10).



Şekil 5.10: Maritime bölgesinde İlçeler düzeyinde FAHP yöntemi için arazi uygunluk sınıflarının mekânsal dağılımı

Plateaux bölgesinde, S1 sınıfı Wawa, Akébou, Danyi ve Amou ilçelerinde 8982,27 hektar, 15037,2 hektar, 4276,26 hektar ve 2478,69 hektarlık alanlarla daha fazla temsil edilmektedir. S2 sınıfıyla ilgili olarak, Haho, Est-Mono, Anié ve Ogou ilçelerinde daha fazla temsil edilmektedir. S3 sınıfı ise, Haho, Amou ve Est-Mono ilçelerinde daha fazla temsil edilmektedir (Şekil 5.11).

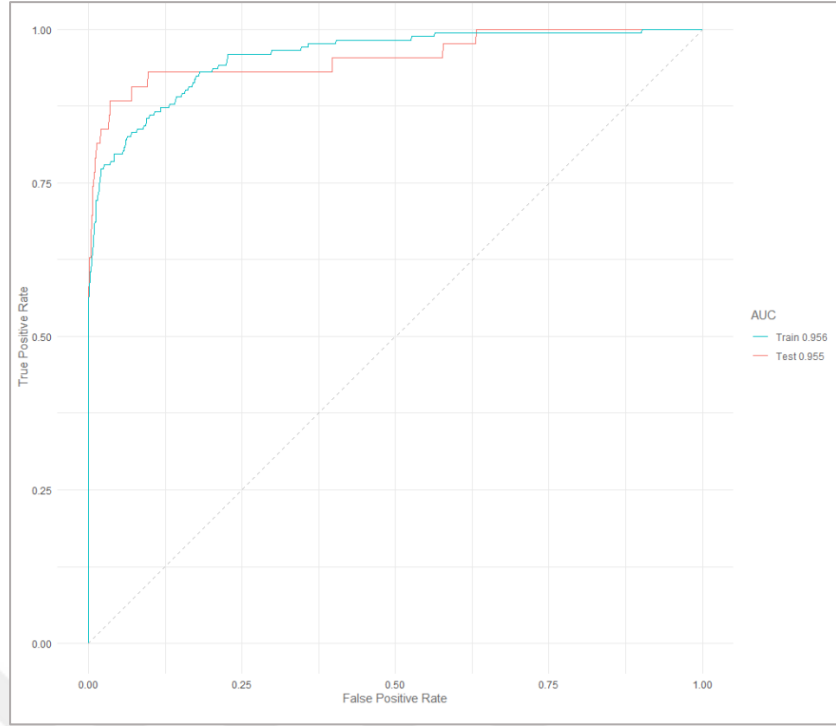


Şekil 5.11: Plateaux bölgesinde İlçeler düzeyinde arazi uygunluk sınıflarının mekânsal dağılımı

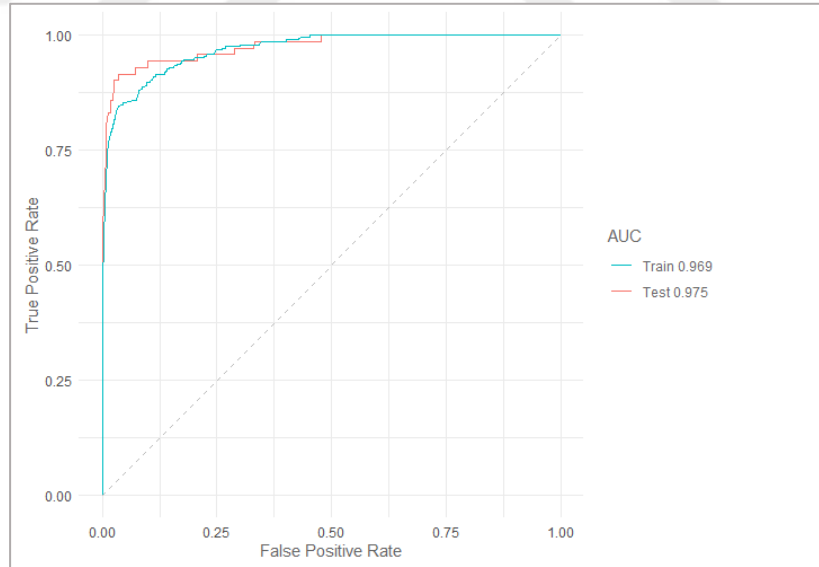
5.2.2. MaxEnt sonuçları

5.2.2.1. MaxEnt modeli değerlendirme sonucu

İki bölgedeki MaxEnt modelinin ROC (Alıcı İşletim Karakteristiği) sonuçları Şekil 5.12 ve 5.13 de gösterilmektedir. İki bölgedeki modellemelerden elde edilen AUC'nin (Eğri Altındaki Alan) 0,9'dan büyük olduğunu, yani Maritime ve Plateaux bölgeleri için sırasıyla 0,95 ve 0,97 olduğu tespit edilmiştir. Araujo et al. (2005), AUC 0,9'dan büyük veya eşitse modelleme sonucu mükemmel olarak kabul edilmektedir.



Şekil 5.12: Maritime bölgesi için MaxEnt modelinin ROC sonucu



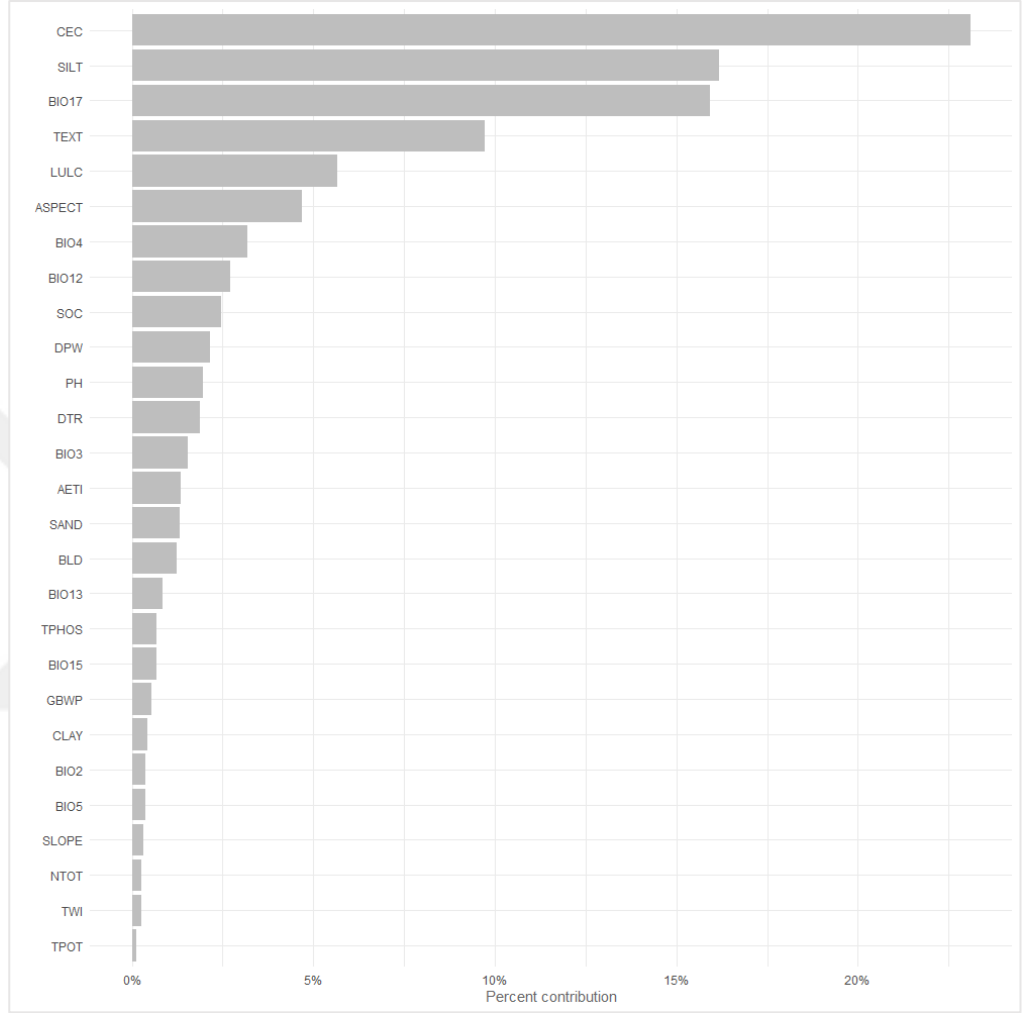
Şekil 5.13: Plateaux bölgesi için MaxEnt modelinin ROC sonucu

5.2.2.2. MaxEnt modelleme için değişkenlerin önemi

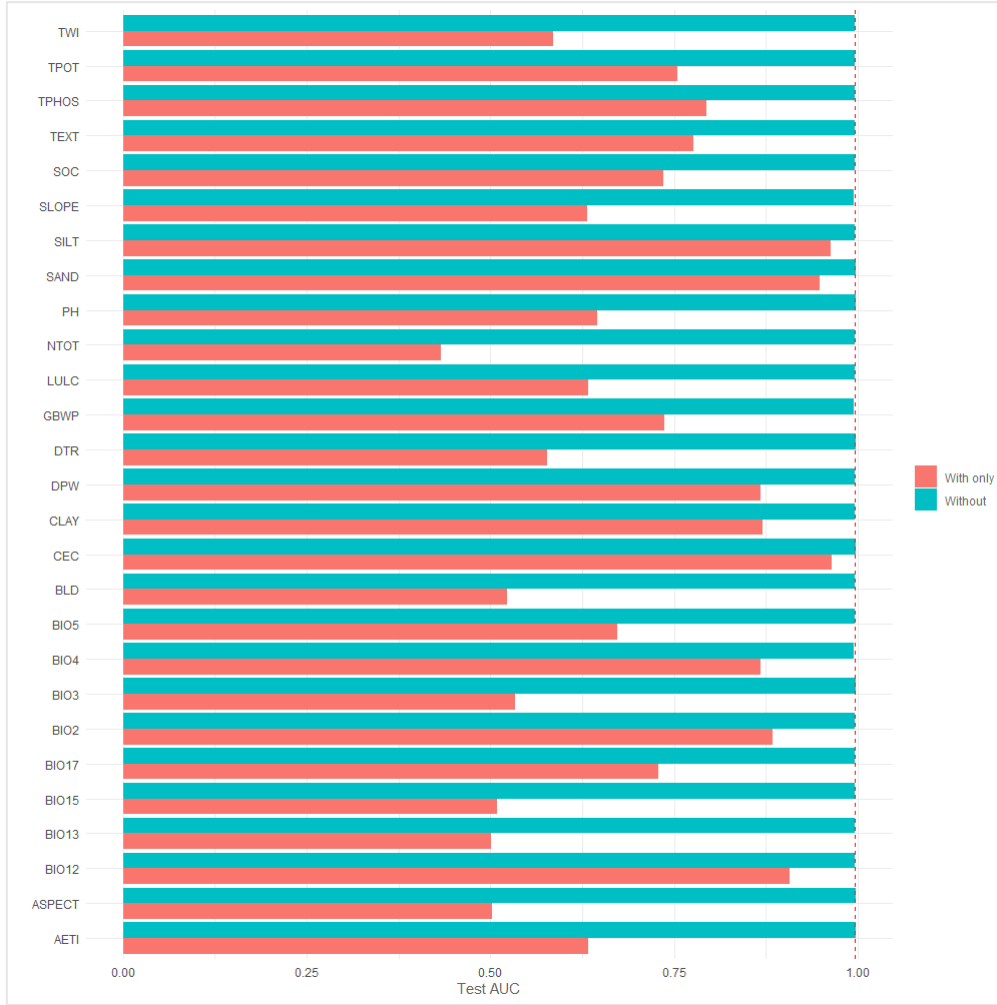
Makine öğrenmesi tabanlı yöntemin kullanılmasının avantajlarından biri, değişkenlerin öneminin kullanılan algoritma tarafından otomatik olarak hesaplanmasıdır. Kullanılan algoritmaya bağlı olarak, değişkenlerin öneminin otomatik olarak hesaplanması için çeşitli yöntemler vardır. MaxEnt algoritması, değişkenlerin önemini hesaplamak için iki yöntem sunar: Katkı Yüzdesi (Percent Contribution) ve Permütasyon Önemi (Permutation Importance). Bu çalışmada, değişkenlerin önemini tahmin etmek için katkı yüzdesi yöntemi kullanılmıştır. Yüzde katkıyı belirlemek için, algoritmanın her iterasyonunda, düzenlenmiş kazançtaki artış ilgili değişkenin katkısına eklenmekte veya lambda'nın mutlak değerindeki değişiklik negatifse ondan çıkarılmaktadır. Şekil 5.14 ve 5.16, Maritime ve Plateaux bölgesi için MaxEnt değişken öneminin sonuçlarını göstermektedir. Değişkenlerin önemine ek olarak, MaxEnt algoritmasına dayalı modellemenin önemli sonuçlarından biri de Jackknife testidir. Jackknife yöntemi, mevcut örneğin alt örneklerinden tahmini yeniden hesaplayarak, sapma tahminlerini ve bir tahminin standart hatasını sağlayan popüler bir yeniden örnekleme yöntemidir (Wildt, 1982). Test sürecinde her bir değişken sırayla hariç tutulur ve kalan değişkenlerle bir model oluşturulmaktadır. Daha sonra her bir değişkeni ayrı ayrı kullanarak bir model oluşturulmaktadır. Ayrıca tüm değişkenler kullanılarak bir model oluşturulmaktadır. Şekil 5.15 ve 5.17, Maritime ve Plateaux bölgeleri için Jackknife değişken öneminin sonuçlarını göstermektedir.

Çalışma alanındaki değişkenlerin önemi bölgeden bölgeye değişmektedir. Maritime bölgesinde, en önemli 5 değişken CEC, SILT, BIO17, Doku ve LULC'dir. Bölgede çeltik ekimi için arazinin uygunluğunun modellenmesine daha fazla katkıda bulunan ilk iki değişkenin toprak faktörü ile ilgili olduğu belirtilmektedir. İklim faktörüyle bağlantılı BIO 17 değişkeni üçüncü sırada yer almaktadır. Tek başına kullanıldığında en yüksek AUC kazancına sahip 5 değişken CEC, SILT, SAND, BIO 12 ve BIO 2'dir. İlk üç değişken toprak faktörü ile ilgilidir. Bu durum, toprak faktörü ile ilgili değişkenlerin Maritime bölgesinde arazinin çeltik ekimine uygunluğu üzerindeki güçlü etkisini göstermektedir. Listede BIO 12 ve BIO 2 gibi iklimsel değişkenlerin varlığına da dikkat çekiyoruz. Bu durumda, Maritime bölgesinde çeltik ekimi için arazinin uygunluğunu tanımlayan iki önemli faktörün

toprak ve iklim faktörü olduğu sonucuna varılabilmektedir. Dolayısıyla, CEC, SILT, SAND, BIO 17, BIO 12 ve BIO 2, Maritime bölgesinde çeltik ekimi için arazinin uygunluğunu tanımlamaya katkıda bulunan ana değişkenler olarak düşünülebilmektedir.

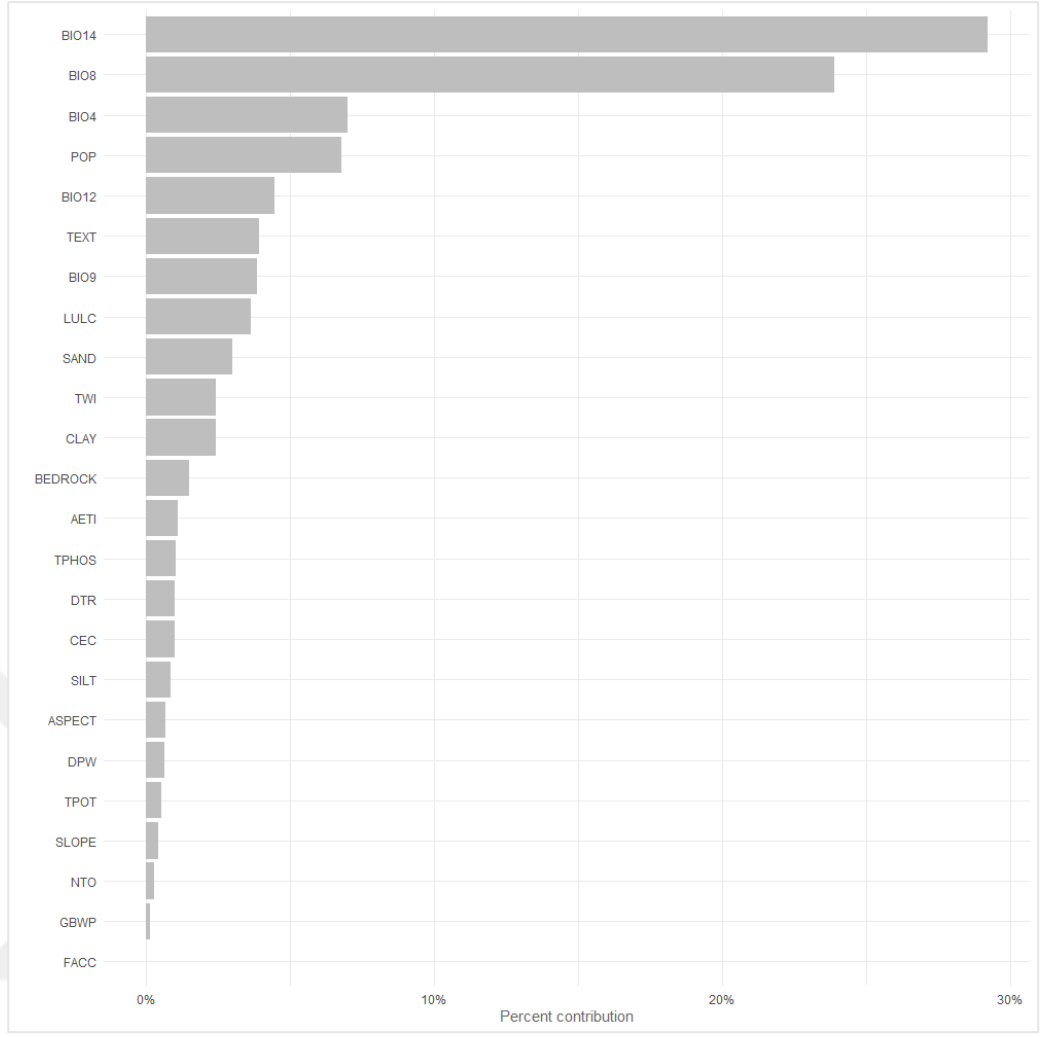


Şekil 5.14: Maritime bölgesi için MaxEnt değişken öneminin sonucu

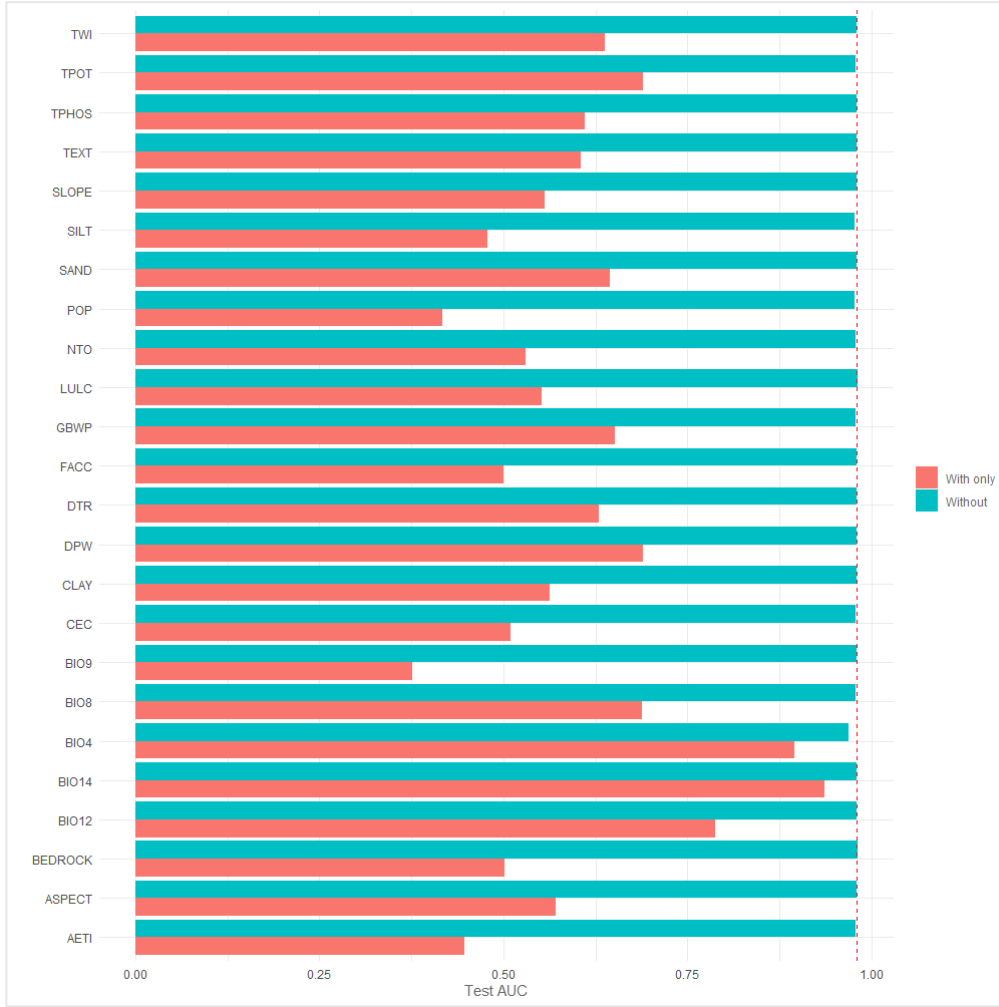


Şekil 5.15: Maritime bölgesi için Jackknife testinin sonucu

Plateaux bölgesinde, en önemli ilk 5 değişken BIO 14, BIO 8, BIO4, POP ve BIO12'dir. Bölgede çeltik ekimi için arazinin uygunluğunun modellenmesine en çok katkıda bulunan ilk üç değişkenin iklimle ilgili olduğu belirtilmektedir. Sosyoekonomik faktörle ilgili POP değişkeni dördüncü sırada yer almaktadır. Tek başına kullanıldığında en yüksek AUC kazancına sahip 6 değişken BIO 14, BIO4, BIO 12, BIO8, DPW ve TPOP'tur. Ancak, BIO8, DPW ve TPOP'un aynı AUC kazancına sahip olduğu unutulmamalıdır. Bu nedenle, Plateaux bölgesinde çeltik ekimi için arazinin uygunluğunun tanımındaki önemli değişkenlerin esasen iklim faktörü ile bağlantılı olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, iklim faktörlerinin Plateaux bölgesinde çeltik üretimi üzerindeki güçlü etkisini göstermektedir.



Şekil 5.16: Plateaux bölgesi için MaxEnt değişken öneminin sonucu



Şekil 5.17: Plateaux bölgesi için Jackknife testinin sonucu

5.2.2.3. Çalışma alanında çeltik ekimi için arazi uygunluğunun mekânsal dağılımı için MaxEnt modelleme sonucu

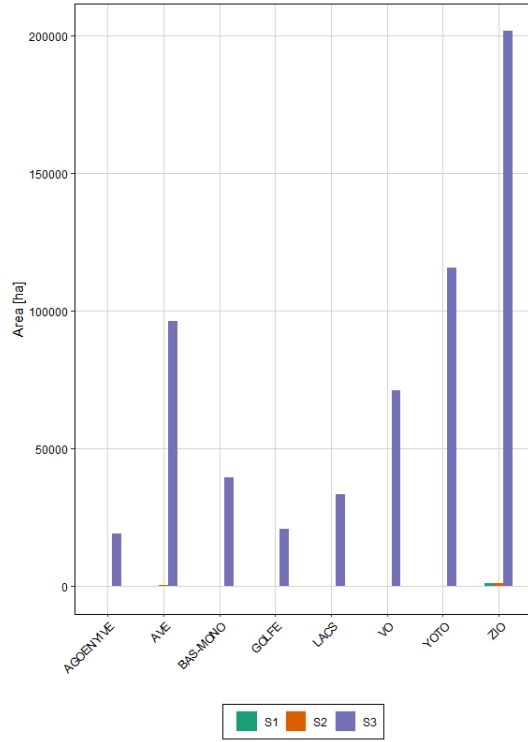
Çeltik ekimi için toprak uygunluk sınıfları ilgili alanlarla birlikte Tablo 5.2’de verilmiştir. Çalışma alanında, Maritime ve Plateaux bölgeleri için sırasıyla %99,44 ve %98,07’lik bir oranla S3 sınıfının daha fazla temsil edildiği görülmektedir. Bu oranlar, Maritime ve Plateaux bölgeleri için sırasıyla 598.596,66 hektar ve 1.639.549,4 hektarlık bir alanı temsil etmektedir. Bu arazi uygunluk sınıfı şu özelliklerle karakterize edilmektedir: Büyüme döngüsünün ortalama yağışı 70 ila 120 mm arasında; büyüme döngüsünün ortalama sıcaklığı 10 ila 18°C arasında; Si ve SL tipi tekstüre sahip topraklar; 10 ile 16 cmol/kg arasında CEC; 4,5 ile 5 arasında pH; 2 ile 3 arasında organik karbon; 5 ila %8 arasında eğim ve 2 ila 5 km arasında DTW değişim göstermektedir. FAO tanımına göre bu araziler, belirli bir

kullanımın sürekli uygulanması için genel olarak ciddi sınırlamalara sahip olan ve bu nedenle verimliliği düşürecek olan arazilerdir. Çalışma alanında, S1 ve S2 sınıfları zayıf bir şekilde temsil edilmektedir. Maritime bölgesinde, S1 ve S2 sınıfları değerlendirilen toplam arazi alanının %1'ini geçmemektedir. Plateaux bölgesinde bu değer %2,4'tür. Alan bakımından, Maritime ve Plateaux bölgelerinde sırasıyla 1663,83 hektar ve 11.354,94 hektar arazi çeltik yetiştirmek için çok uygundur.

Uygunluk sınıfı	Maritime bölgesi		Plateaux bölgesi		Toplam	
	Alan (hektar)	Alan (%)	Alan (hektar)	Alan (%)	Alan (hektar)	Alan (%)
Çok Uygun	1 663,83	0,28	11 354,94	0,68	13 018,77	0,57
Orta Düzeyde Uygun	1 694,97	0,28	29 243,07	1,74	30 938,04	1,36
Marjinal Olarak Uygun	598 596,66	99,44	1 639 549,4	97,58	2 238 146,1	98,07

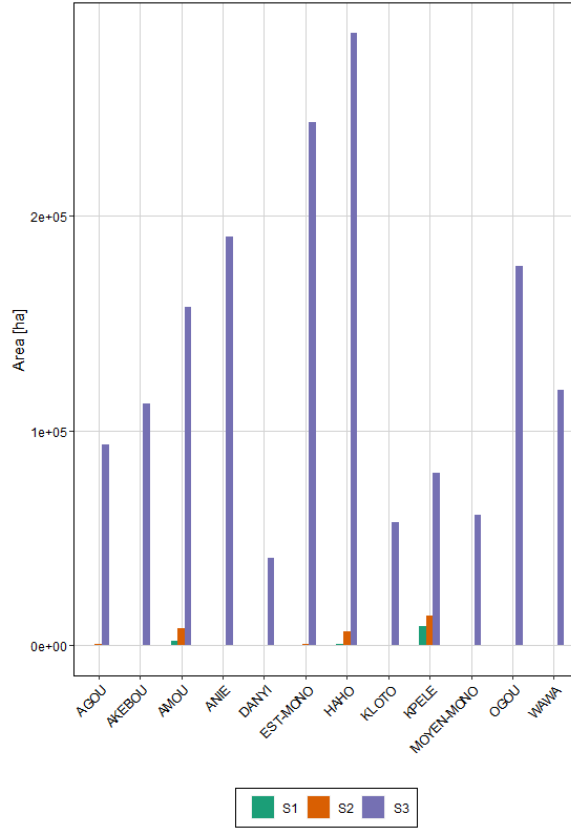
Tablo 5.2: MaxEnt yöntemi ile çeltik ekimi için arazi uygunluk sınıfları ve ilgili alanlar

İlçeler düzeyinde arazi uygunluk sınıflarının mekânsal dağılımı ile ilgili olarak, Maritime bölgesinde, S1 sınıfı Zio, Bas-Mono ve Avé ilçelerinde 1056.24 hektar, 192,6 hektar ve 136.8 hektarlık alanlarla daha fazla temsil edilmektedir. S2 sınıfıyla ilgili olarak, Zio, Avé ve Bas-Mono ilçelerinde daha fazla temsil edilmektedir. S3 sınıfı ise daha çok Zio, Yoto, Avé ve Vo ilçelerinde temsil edilmektedir (Şekil 5.18).



Şekil 5.18: Maritime bölgesinde İlçeler düzeyinde MaxEnt yöntemi için arazi uygunluk sınıflarının mekânsal dağılımı

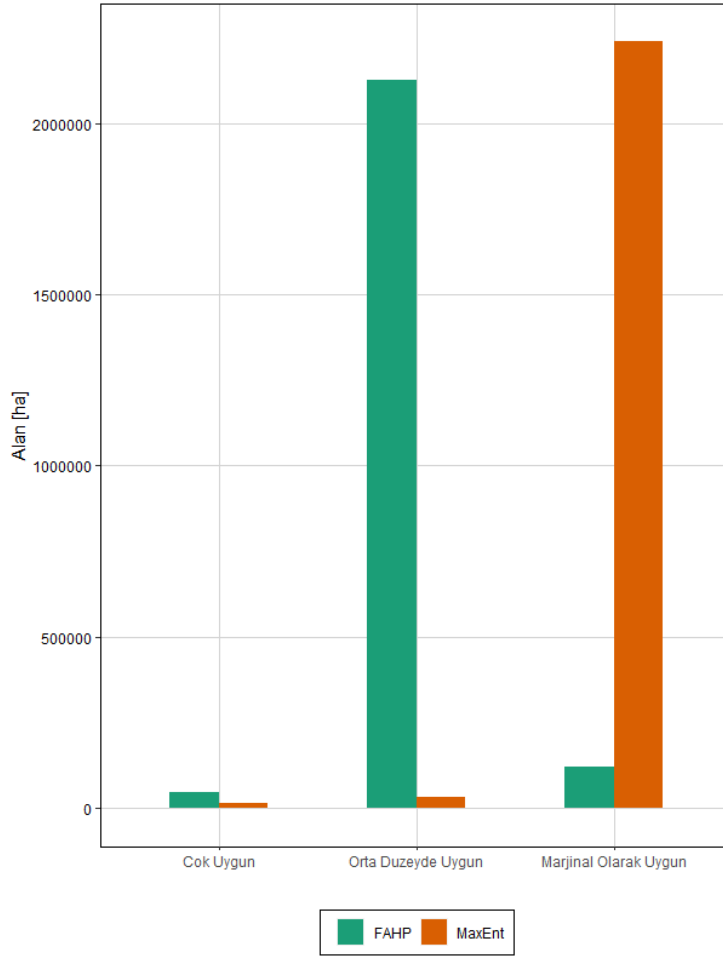
Plateaux bölgesinde, S1 sınıfı Kpélé, Amou ve Haho ilçelerinde 8874,9 hektar, 1.854 hektar ve 477,48 hektarlık alanlarla daha fazla temsil edilmektedir. S2 sınıfı ile ilgili olarak, 13641,39 hektar, 7821.81 hektar ve 6329,7 hektarlık ilgili alanlarda aynı eğilim gözlenmektedir. S3 sınıfı ise Haho, Est-Mono, Anié ve Ogou ilçelerinde daha fazla temsil edilmektedir (Şekil 5.19).



Şekil 5.19: Plateaux bölgesinde İlçeler düzeyinde MaxEnt yöntemi için arazi uygunluk sınıflarının mekânsal dağılımı

5.2.3. İki metodolojinin çeltik ekimi için toprak uygunluğunun mekânsal dağılımının sonuçlarının karşılaştırılması

İki metodolojinin çeltik ekimi için arazi uygunluk sınıfı haritalama sonuçları arasındaki karşılaştırma Şekil 5.20’de gösterilmektedir. İki yaklaşım tarafından haritalanan sınıfların alanlarının, özellikle de S2 ve S3 sınıflarının alanlarının önemli ölçüde farklı olduğu tespit edilmiştir. FAHP yaklaşımıyla haritalanan S1 sınıfı alanı, MaxEnt yaklaşımıyla haritalanan alandan 3 kat daha büyüktür, yani sırasıyla 47.723,04 hektar ve 13.018,77 hektar olarak belirlenmiştir.



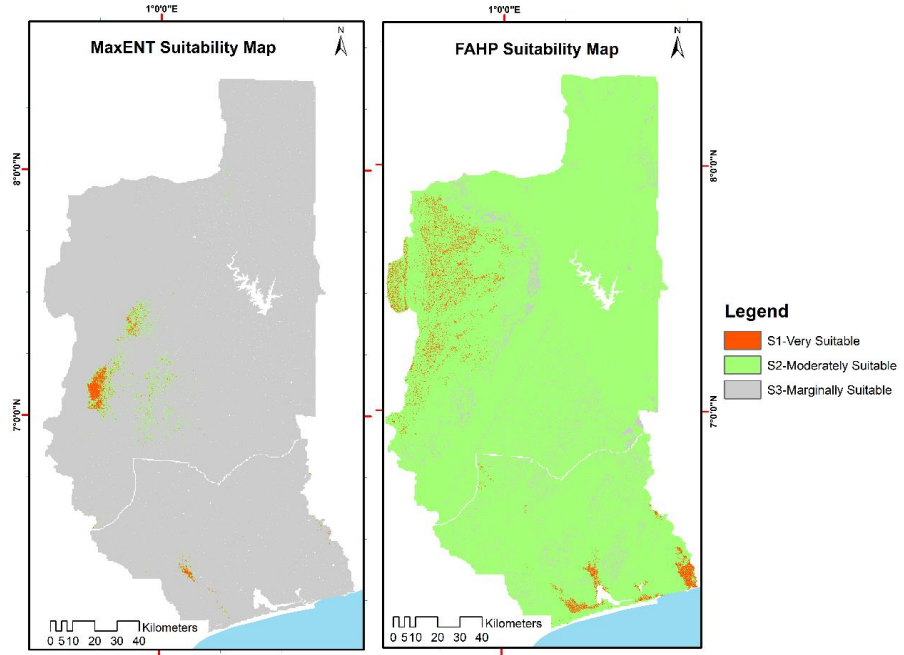
Şekil 5.20: FAHP ve MaxEnt metodolojilerin çeltik ekimi için arazi uygunluk sınıfı haritalama sonuçları arasındaki karşılaştırma

Bu büyük niceliksel farka ek olarak, Jaccard katsayısına dayalı analiz, iki eşleme yaklaşımının sınıfları arasında çok düşük derecede benzerlik olduğunu göstermektedir. Gerçekten de, Jaccard katsayısı en az %50'den büyükse iki sınıf benzerdir. Ancak bizim çalışmamızda en yüksek katsayı S3 sınıfları arasında elde edilmiştir, yani Maritime ve Plateaux bölgeleri için sırasıyla %6,76 ve %4,6 olarak belirlenmiştir (Tablo 5.3).

Uygunluk sınıfı	Jaccard katsayısı [%]	
	Maritime bölgesi	Plateaux bölgesi
Çok Uygun	1,28	0,67
Orta Düzeyde Uygun	0,28	1,81
Marjinal Olarak Uygun	6,76	4,86

Tablo 5.3: Jaccard benzerlik testinin sonucu

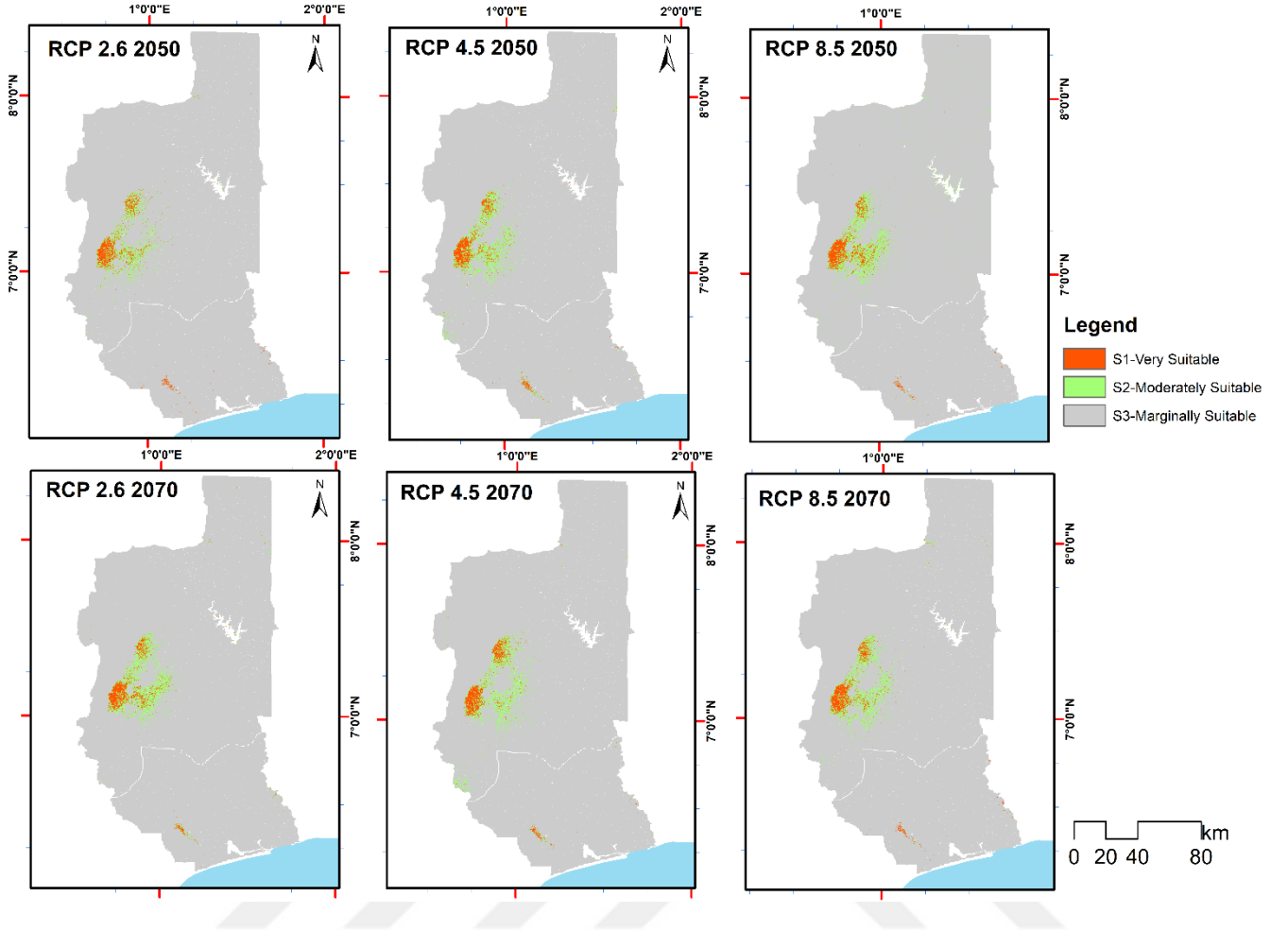
Bu sonuçlar, iki metodolojinin aynı sonuçları vermediğini göstermektedir (Şekil 5.21).



Şekil 5.21: Çeltik ekimi için arazi uygunluk haritaları

5.2.4. İklim değişikliğinin çeltik ekimi için arazi uygunluğu üzerindeki etkileri

Bu tezin amaçlarından biri, iklim değişikliğinin çalışma alanındaki arazilerin çeltik ekimine uygunluğu üzerindeki etkisini değerlendirmektir. Bu amaca ulaşmak için, arazi uygunluk değerlendirmesinde MaxEnt yaklaşımı kullanılmıştır. Bu seçimin birkaç nedeni vardır; bunlardan en önemlisi, arazi uygunluğunun değerlendirilmesinde bu yaklaşımla elde edilen sonuçların FAHP yaklaşımıyla elde edilenlerden daha makul olmasıdır. Bu nedenle, bu bölümde arazi uygunluğunun değerlendirilmesinde kullanılan değişkenlerin iklim projeksiyonları kullanılmıştır. Bu analizde, iklim değişikliğinin il bazında arazi uygunluğu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu analiz yaklaşımı tercih edilmiştir çünkü amaç iklim değişikliğinin yerel düzeydeki etkisini anlamaktır. Ancak Şekil 5.22, iklim değişikliğinin çalışma alanındaki arazi uygunluğu üzerindeki etkisinin genel haritasını göstermektedir.

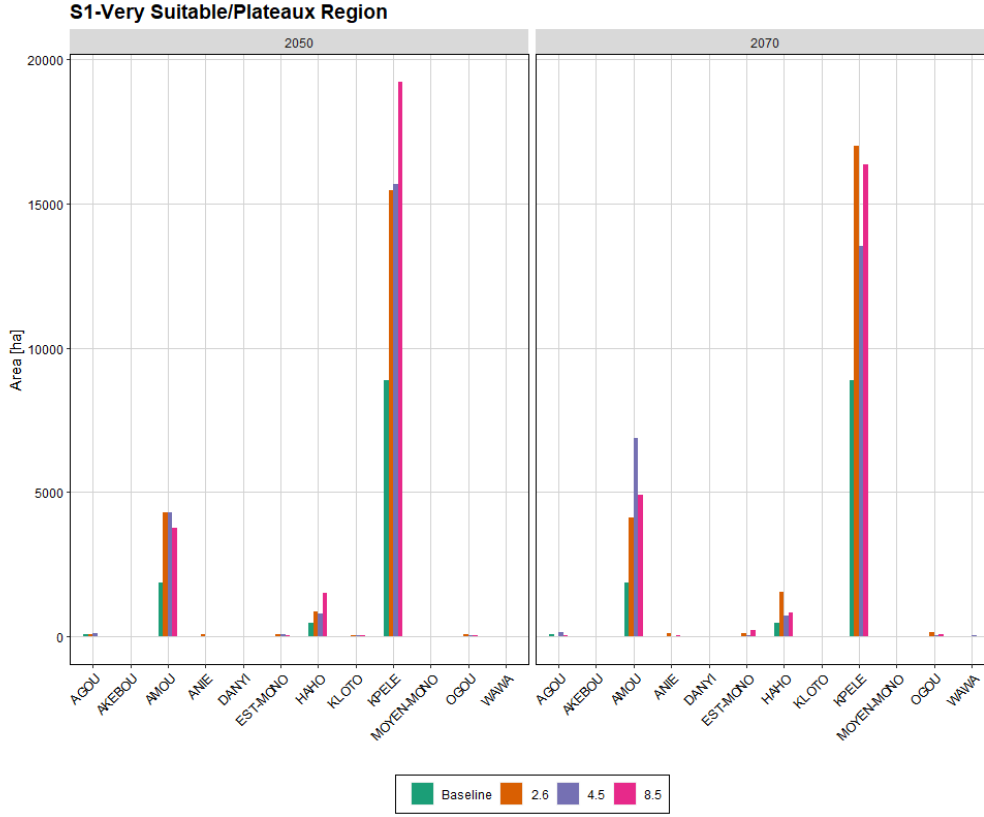


Şekil 5.22: İklim değişikliğinin çalışma alanındaki arazi uygunluğu üzerindeki etkisinin genel haritası

Şekil 5.23, 5.24 ve 5.25, iklim değişikliğinin Plateaux bölgesindeki ilçelerde çeltik ekimi için arazi uygunluğunun S1, S2 ve S3 sınıfları üzerindeki etkisini göstermektedir. Plateaux bölgesinde, iklim değişikliğinin etkisinin analizi daha çok çeltik üretiminin yüksek olduğu üç ilçeye odaklanacaktır. Bu ilçeler şunlardır: Kpélé, Amou ve Haho.

Plateaux bölgesinde, farklı iklim değişikliği senaryoları (RCP2.6, 4.5, 8.5) altında ilçelerdeki S1 sınıfı yüzölçümünde genel olarak referans döneme kıyasla bir artış görülmektedir. Böylece 2050 dönemi için Kpélé ilçesinde (S1 sınıfının en fazla temsil edildiği ilçe) iklim senaryolarına göre alanlarda lineer bir artış söz konusudur. Yani 8.5 senaryosu altında elde edilen alan senaryo 4.5, 2.6 ve referans dönemde elde edilenden daha büyüktür. Amou ilçe ile ilgili olarak, 2.6 senaryosu altında elde edilen alan senaryo 4.5, 2.6 ve referans dönemde elde edilenden daha

büyüktür. Haho ilçe ise, 8.5 senaryosu altında elde edilen alan senaryo 2.6, 4.5 ve referans dönemde elde edilenden daha büyüktür. 2070 dönemi için iklim senaryoları altında elde edilen alanların referans döneme göre üstünlüğü gözlemlenmiştir. Ancak, senaryolardaki eğilimler arasında bir fark vardır. Dolayısıyla, Kpélé ilçesinde 2.6 senaryosu altında elde edilen alan senaryo 8.5, 4.5 ve referans dönemde elde edilenden daha büyük olduğu gözlemlenebilmektedir. Amou ilçesi ile ilgili olarak, 4.5 senaryosu altında elde edilen alan senaryo 8.5, 2.6 ve referans dönemde elde edilenden daha büyüktür. Haho ilçesi ise, 2.6 senaryosu altında elde edilen alan senaryo 8.5, 4.5 ve referans dönemde elde edilenden daha büyüktür. 2050 ve 2070 dönemleri arasındaki elde edilen alanlarının evrimini karşılaştırarak, senaryolar arasındaki farklılıklar gözlemlenebilmektedir. Böylece, 2050'den 2070'e kadar olan dönemde, Kpélé ilçesinde, senaryo 2.6 altında elde edilen alanda bir artış ve senaryo 4.5 ve 8.5 altında elde edilen alanda bir azalma söz konusu olmaktadır. Amou ilçesinde, senaryo 4.5 ve 8.5 altında elde edilen alanda bir artış ve senaryo 2.6 altında elde edilen alanda bir azalış söz konusu olmaktadır. Haho ilçesi ile ilgili olarak, senaryo 4.5 ve 8.5 altında elde edilen alanda bir azalış ve senaryo 2.6 altında elde edilen alanda bir artış söz konusu olmaktadır.

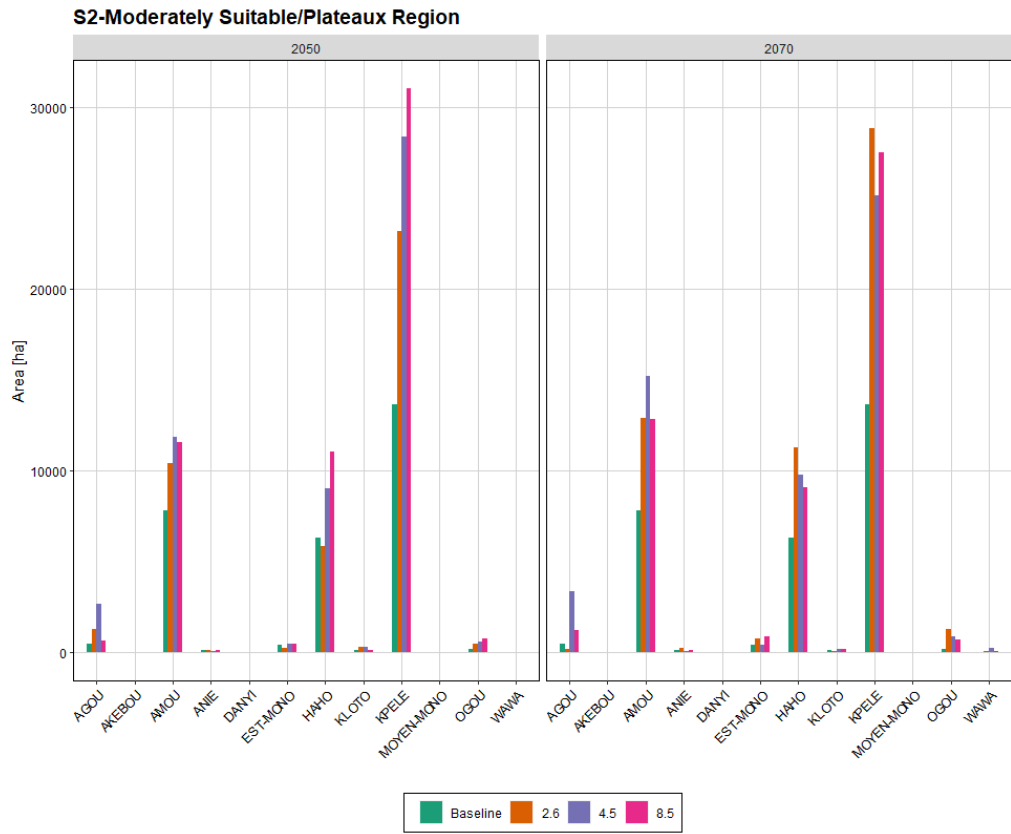


Şekil 5.23: İklim değişikliğinin Plateaux bölgesinde çeltik ekimi için arazi uygunluk sınıfları üzerindeki etkisi: Sınıf S1

S2 sınıfı ile ilgili olarak, gelecek senaryolarının, 2050 dönemi için Haho ilçesindeki 2.6 senaryosu dışında, yüksek çeltik üretimi olan ilçelerde referans dönem altında elde edilen sonuca kıyasla önemli ölçüde farklı sonuçlar verdiği belirtilmektedir.

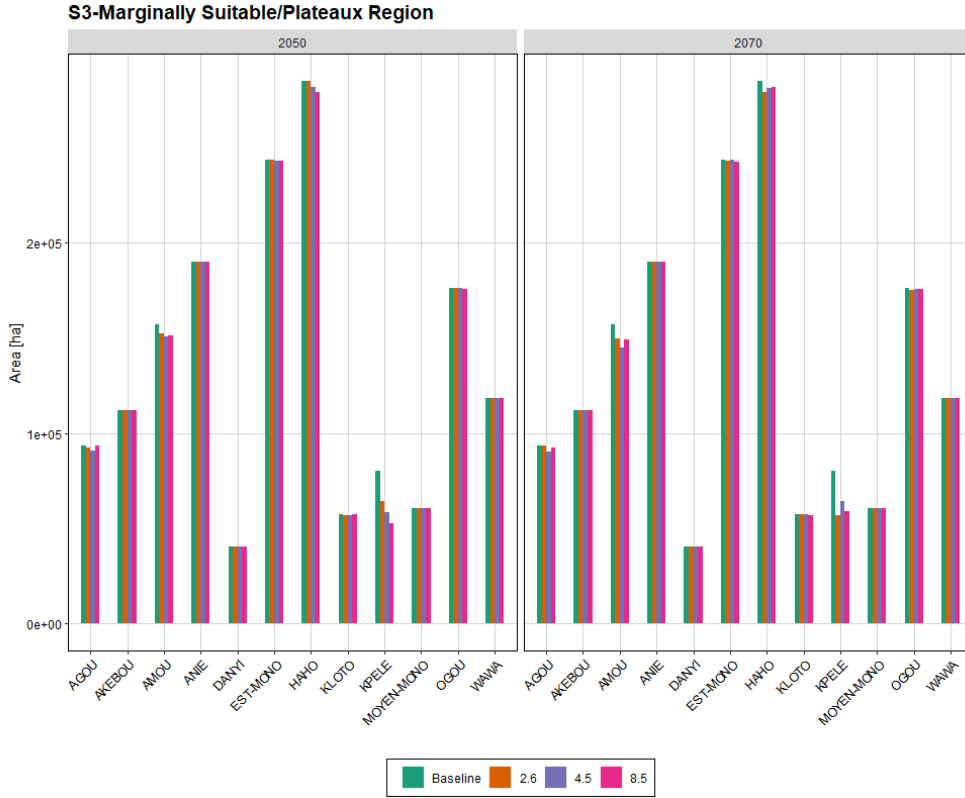
Böylece 2050 dönemi için Kpélé ilçesinde (S1 sınıfının en fazla temsil edildiği ilçe) iklim senaryolarına göre alanlarda lineer bir artış söz konusudur. Yani 8.5 senaryosu altında elde edilen alan senaryo 4.5, 2.6 ve referans dönemde elde edilenden daha büyüktür. Amou ilçe ile ilgili olarak, 4.5 senaryosu altında elde edilen alan senaryo 8.5, 2.6 ve referans dönemde elde edilenden daha büyüktür. Haho ilçe ise, 8.5 senaryosu altında elde edilen alan senaryo 4.5, referans dönemde ve 2.6 senaryosu altında elde edilenden daha büyüktür ($8.5 > 4.5 > \text{referans dönem} > 2.6$). 2070 dönemi için iklim senaryoları altında elde edilen alanların referans döneme göre üstünlüğü gözlemlenmiştir. Ancak, senaryolardaki eğilimler arasında bir fark söz konusudur. Dolayısıyla, Kpélé ilçesinde 2.6 senaryosu altında elde edilen alan senaryo 8.5, 4.5 ve referans dönemde elde edilenden daha büyük

olduğu gözlemlenebilmektedir. Amou ilçesi ile ilgili olarak, 4.5 senaryosu altında elde edilen alan senaryo 2.6, 8.5 ve referans dönemde elde edilenden daha büyüktür. Haho ilçesi ise, 2.6 senaryosu altında elde edilen alan senaryo 4.5, 8.5 ve referans dönemde elde edilenden daha büyüktür. 2050 ve 2070 dönemleri arasındaki alanlarının evrimini karşılaştırarak, senaryolar arasındaki farklılıklar gözlemlenebilmektedir. 2050 ve 2070 dönemleri arasındaki elde edilen alanlarının evrimini karşılaştırarak, senaryolar arasındaki farklılıklar gözlemlenebilmektedir. Böylece, 2050'den 2070'e kadar olan dönemde, Kpélé ilçesinde, senaryo 2.6 altında elde edilen alanda bir artış ve senaryo 4.5 ve 8.5 altında elde edilen alanda bir azalma söz konusu olmaktadır. Amou ilçesinde, tüm senaryolar altında elde edilen alanlar bir artış olduğu görülmüştür. Haho ilçesi ile ilgili olarak, senaryo 8.5 altında elde edilen alanda bir azalış ve senaryo 2.6 ve 4.5 altında elde edilen alanlarda bir artış söz konusu olmaktadır.



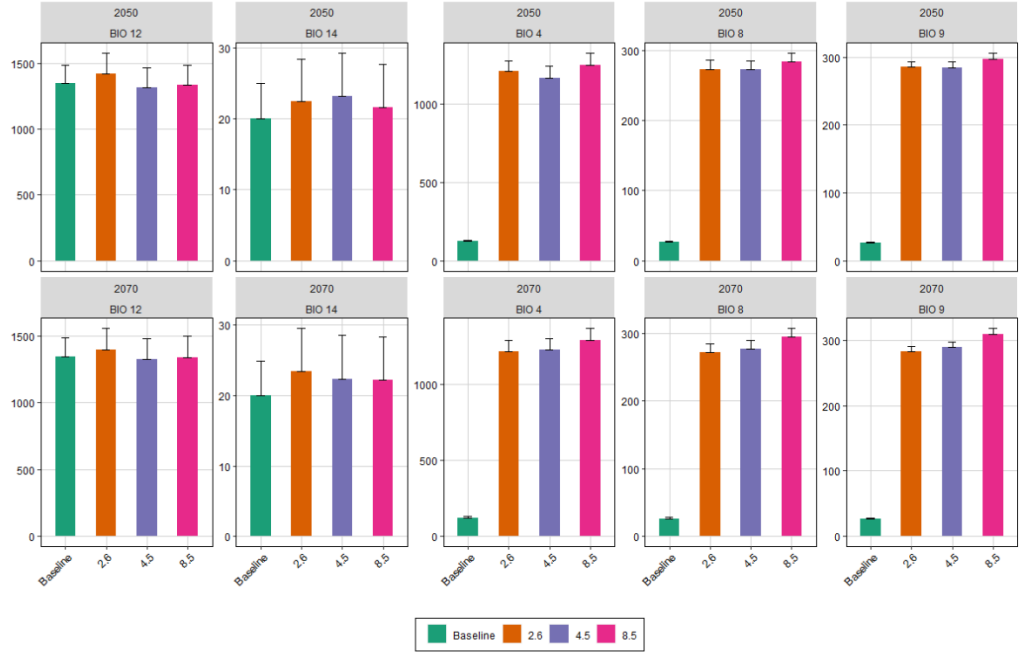
Şekil 5.24: İklim değişikliğinin Plateaux bölgesinde çeltik ekimi için arazi uygunluk sınıfları üzerindeki etkisi: Sınıf S2

Çeltik ekimi için S3 arazi uygunluk sınıfı için elde edilen sonuçlar, S1 ve S2 sınıflar için elde edilen sonuçların bir sonucudur. Dolayısıyla, üç ilçelerde sonuçlar sınıf S1 ve S2 altında elde edilenlerin tersidir. Agou ilçesinde gözlemlenen varyasyon karşılaştırıldığında, gelecek senaryoları altında elde edilen sonuçların, S1 ve S2 sınıf için referans dönem altında elde edilenlerden daha büyük olduğu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.25: İklim değişikliğinin Plateaux bölgesinde çeltik ekimi için arazi uygunluk sınıfları üzerindeki etkisi: Sınıf S3

İklimsel değişkenler ile bu üç ilçedeki arazi uygunluk sınıfı alanlarının değişkenliği arasındaki ilişkiyi anlamak için, bu değişkenlerin gelişimi arasında bir karşılaştırma yapılmıştır (Şekil 5.26). Bu analiz, referans dönemi için iklim değişkenlerini ve senaryolar altındaki projeksiyonları karşılaştırmaktadır. Genel olarak, 2050 dönemi ve 4.5 senaryosu için BIO 12 değişkeni haricinde, diğer tüm iklim değişkenleri için, tüm dönemler (2050 ve 2070) ve senaryolar (2.6, 4.5, 8.5) için referans dönemine kıyasla bir artış söz konusu olmaktadır.



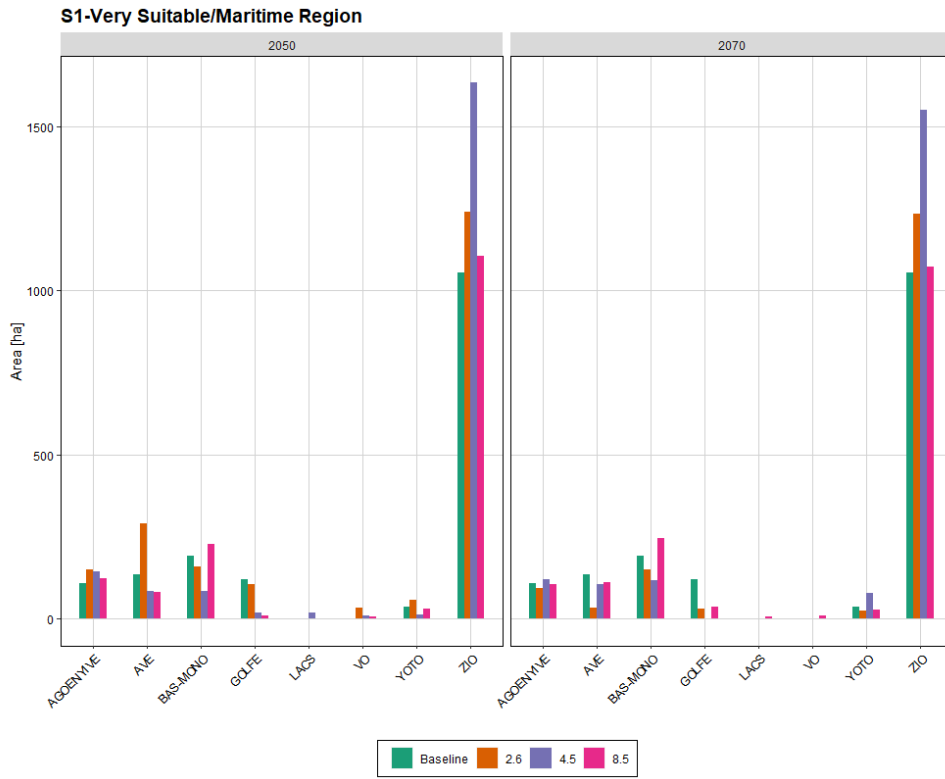
Şekil 5.26: Plateaux bölgesinde farklı senaryolar ve dönem altında iklim değişkenlerinin değişkenliği

Maritime bölgesinde, iklim değişikliğinin etkisinin analizi daha çok çeltik üretiminin yüksek olduğu üç ilçeye odaklanacaktır. Bu nedenle, bu ilçelerde, referans dönem ile karşılaştırıldığında, gelecek senaryoları önemli ölçüde farklı sonuçlar vermiştir (Şekil 5.27, 5.28, 5.29).

Farklı iklim değişikliği senaryoları altındaki ilçelerde S1 sınıfının alanında referans dönemine kıyasla genel bir artış görülen Plateaux bölgesinin aksine, Maritime bölgesinde bu sonuçlar bir ilçeden diğerine değişmektedir. Böylece 2050 dönemi için Zio ilçesinde (S1 sınıfının en fazla temsil edildiği ilçe), farklı iklim değişikliği senaryoları altında S1 sınıfının alanında referans dönemine kıyasla bir artış söz konusudur. Yani, 4.5 senaryosu altında elde edilen alan senaryo 2.6, 8.5 ve referans dönemde elde edilenden daha büyüktür. Ancak, Bas-Mono ilçesinde, 8.5 senaryosu altında elde edilen alan hariç, diğer iki senaryo altında elde edilen alanlar, referans dönem altında elde edilen alanlardan daha düşüktür. Yani, 2.6 ve 4.5 iklim senaryoları ilçedeki arazi uygunluğunun azalmasına neden olmuştur (8.5> referans dönemde> 2.6> 4.5). Ayrıca, 4.5 ve 8.5 senaryoları için Avé ilçesinde referans dönem altında elde edilen alana kıyasla arazi uygunluk sınıfı S1 alanlarında

bir azalma söz konusu olmaktadır. 2070 dönemi için, 2050 döneminde olduğu gibi, Zio ve Bas-Mono ilçeleri için de aynı eğilimler gözlenmektedir.

2050 ve 2070 dönemleri arasındaki elde edilen alanlarının evrimini karşılaştırarak, senaryolar arasındaki farklılıklar gözlemlenebilmektedir. Böylece, 2050'den 2070'e kadar olan dönemde, Zio ilçesinde, tüm senaryolar altında elde edilen alanlarda bir azalış söz konusu olmaktadır. Bas-Mono ilçesinde, senaryo 4.5 ve 8.5 altında elde edilen alanda bir artış ve senaryo 2.6 altında elde edilen alanda bir azalış söz konusu olmaktadır.

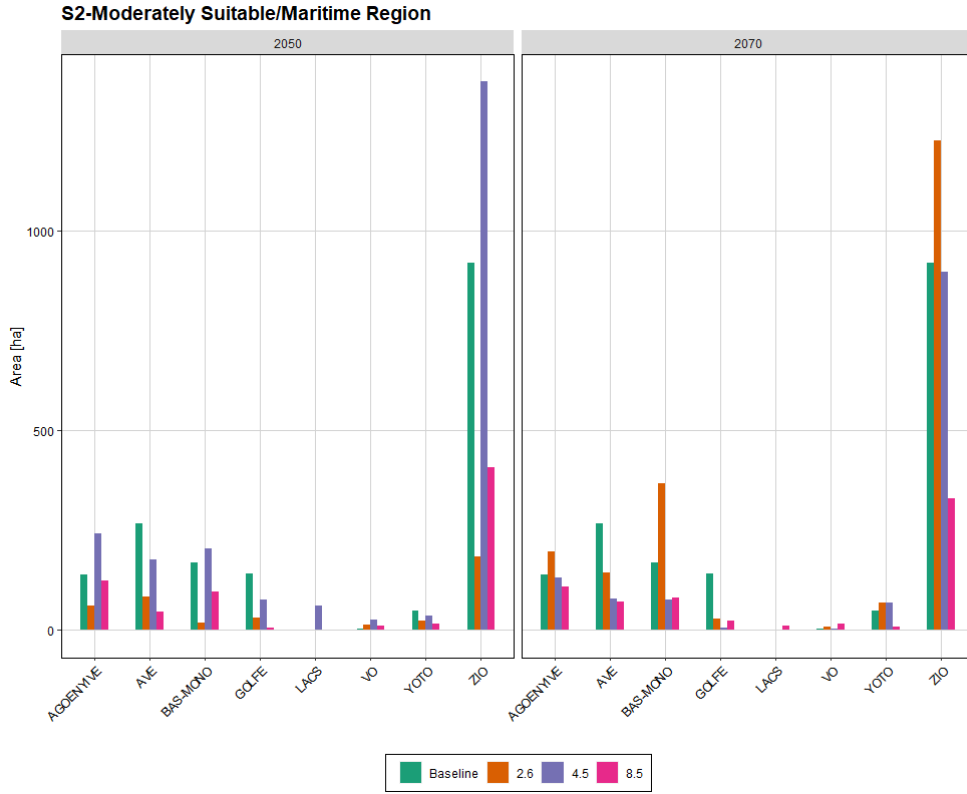


Şekil 5.27: İklim değişikliğinin Maritime bölgesinde çeltik ekimi için arazi uygunluk sınıfları üzerindeki etkisi: Sınıf S1

S1 sınıfı gibi, farklı iklim değişikliği senaryoları altındaki ilçelerde S2 sınıfının sonuçları da referans dönemine kıyasla bir ilçeden diğerine değişmektedir. Dolayısıyla, 2050 dönemi için, Zio ilçesinde, 4.5 senaryosu altında S2 sınıfı alanda referans dönemine kıyasla bir artış söz konusudur. Öte yandan, diğer senaryoların sonuçları, referans dönem altında elde edilenlerden daha düşüktür ($4.5 > \text{referans dönem} > 8.5 > 2.6$). Aynı eğilim Bas-Mono ilçesinde de gözlenmektedir. Bununla

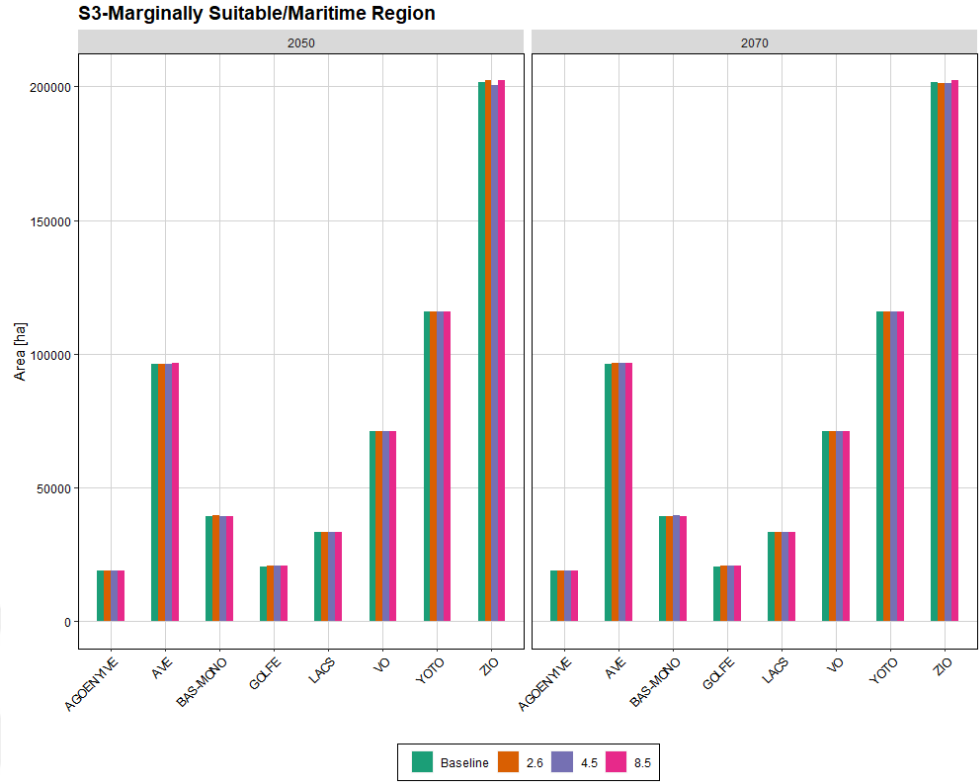
birlikte, Avé ilçesinde, tüm senaryolar için referans dönem kapsamında elde edilen alana kıyasla alanda bir azalış söz konusu olmaktadır.

2070 dönemi için, Zio ilçesinde, 2.6 senaryosu altında S2 sınıfı alanda referans dönemine kıyasla bir artış söz konusudur. Diğer senaryoların sonuçları, referans dönem altında elde edilenlerden daha düşüktür ($2.6 > \text{referans dönem} > 4.5 > 8.5$). Aynı eğilim Bas-Mono ilçesinde de gözlenmektedir. Avé ilçesinde, tüm senaryolar için referans dönem altında elde edilen alana kıyasla alanda bir azalış söz konusudur. Senaryo 2.6 altında elde edilen sonuçların diğer senaryolar altında elde edilenlerden daha iyi olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, 2050 ve 2070 dönemleri arasındaki elde edilen alanlarının evrimini karşılaştırarak, senaryolar arasındaki farklılıklar gözlemlenebilmektedir. Böylece, 2050'den 2070'e kadar olan dönemde, Zio ilçesinde, senaryo 4.5 ve 8.5 altında elde edilen alanda bir azalış ve senaryo 2.6 altında elde edilen alanda bir artış söz konusu olmaktadır. Aynı gözlem Bas-Mono ilçesinde de yapılmıştır. Avé ilçesinde ilgili olarak, 2,6 ve 8,5 senaryoları altında alanda bir artış ve 4,5 senaryosu altında alanda bir azalış söz konusu olmaktadır.



Şekil 5.28: İklim değişikliğinin Maritime bölgesinde çeltik ekimi için arazi uygunluk sınıfları üzerindeki etkisi: Sınıf S2

Plateaux bölgesinde olduğu gibi, çeltik ekimi için S3 sınıfı arazi uygunluğu için elde edilen sonuçlar, S1 ve S2 sınıfları için elde edilen sonuçların bir sonucudur. Dolayısıyla, 2050 yılında Zio ilçesinde referans dönemde altında elde edilen sonuca kıyasla 2.6 ve 8.5 senaryoları altında S3 sınıfı alanlarda bir artış görülmektedir. Bununla birlikte, 2070 yılında aynı ilçede, 8.5 senaryosu altında S3 sınıfı alanda, referans dönemde altında elde edilen sonuca kıyasla bir artış söz konusu olmaktadır. Ayrıca, 2050 döneminden 2070 dönemine kadar, Zio ilçesinde senaryo 8.5 altında elde edilen alanda bir artış söz konusu olmaktadır. Diğer ilçelerde, bir yandan senaryolar ve referans dönemde arasında, diğer yandan da dönemler (2050 ve 2070) arasında çok az farklılık görülmektedir.



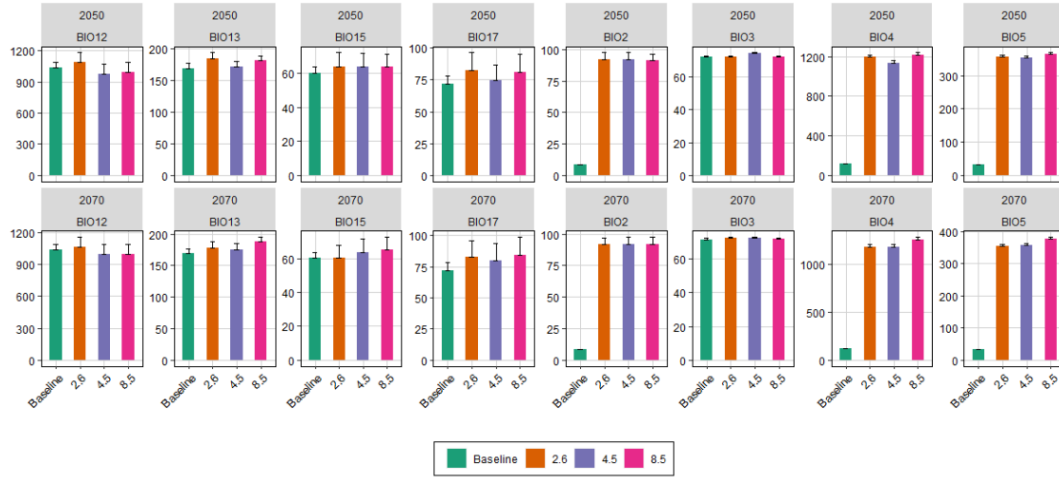
Şekil 5.29: İklim değişikliğinin Maritime bölgesinde çeltik ekimi için arazi uygunluk sınıfları üzerindeki etkisi: Sınıf S3

İklimsel değişkenler ile Zio ve Bas-Mono ilçelerindeki arazi uygunluk sınıfı alanlarının değişkenliği arasındaki ilişkiyi anlamak için, bu değişkenlerin evrimi arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Plateaux bölgesi örneğinde olduğu gibi, bu analiz referans dönemine ilişkin iklim değişkenleri ile senaryolara göre projeksiyonları karşılaştırmaktadır.

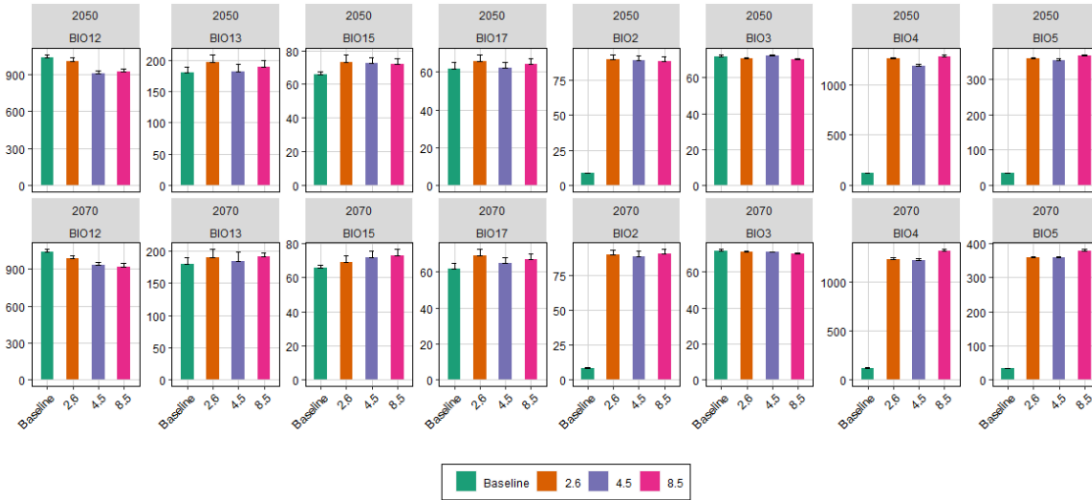
Zio ilçesi, S1 sınıfı alanda referans dönemine kıyasla bir artış ile karakterize edilirken, Bas-Mono ilçesi S1 sınıfı alanda referans dönemine kıyasla bir düşüş ile karakterize edilmektedir. Bu nedenle, iklim değişkenlerinin analizi bu iki ilçe için ayrı ayrı yapılmıştır. Şekil 5.30 ve 5.31, sırasıyla Zio ve Bas-Mono ilçeleri için iklim değişkenlerinin karşılaştırmalı analizinin sonuçlarını göstermektedir.

Zio ilçesinde, BIO 12 (Senaryolar 4.5 ve 8.5) hariç, iklim değişkenlerinin projeksiyonları (2050 ve 2070) tüm senaryolar (2.6, 4.5 ve 8.5) için referans döneminden (1970-2000) daha yüksektir. Öte yandan, Bas-Mono ilçesinde, BIO 12

ve BIO 3 hariç (tüm senaryolar için), iklim değişkenlerinin projeksiyonları tüm senaryolar için referans döneminden daha yüksektir.



Şekil 5.30: Zio ilçesinde farklı senaryolar ve dönem altında iklim değişkenlerinin değişkenliği

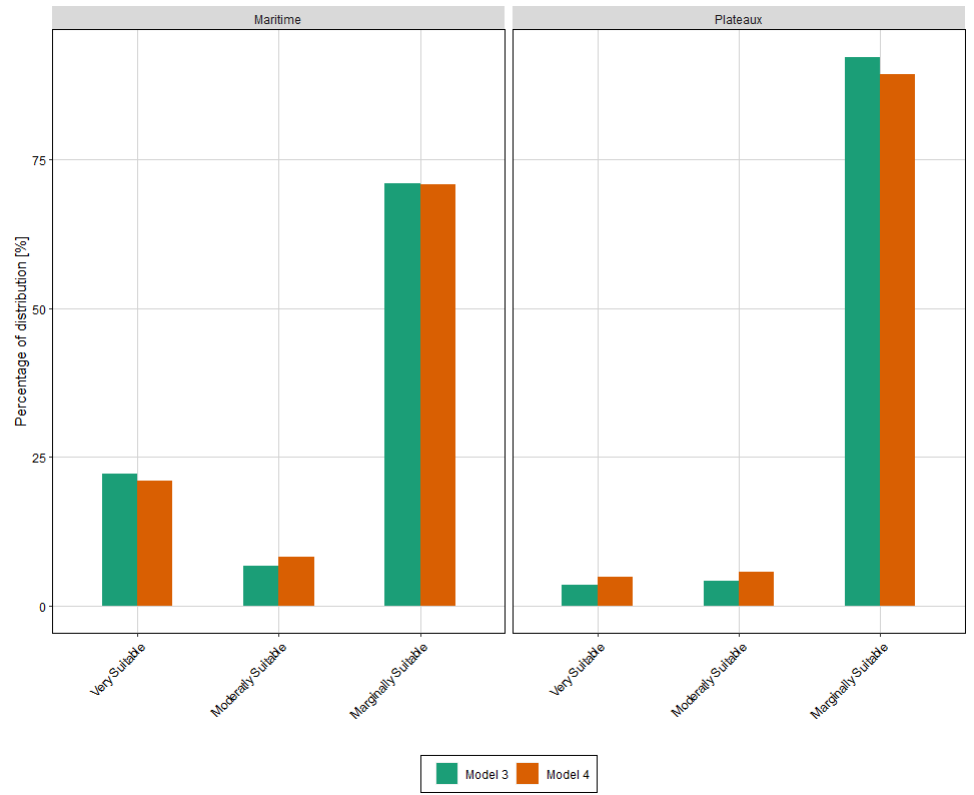


Şekil 5.31: Bas-Mono ilçesinde farklı senaryolar ve dönem altında iklim değişkenlerinin değişkenliği

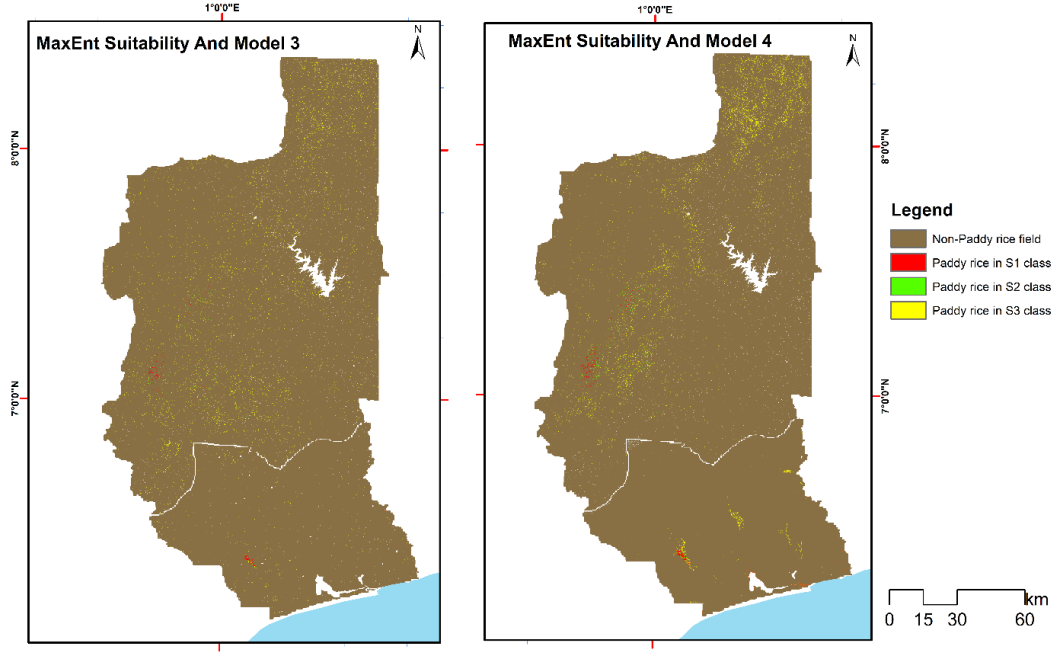
5.2.5. Çalışma alanında çeltik ekimi için çeltik tarlaları alanlarının ve arazi uygunluk sınıflarının mekânsal dağılımının karşılaştırmalı analizi

Çalışma alanındaki çeltik tarlalarının dağılımını niceliksel ve niteliksel olarak değerlendirmek için karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır. Bu analiz, çeltik

tarlalarının haritalanması sırasında elde edilen sonuçların, çalışma alanında çeltik ekimi için arazi uygunluğunun değerlendirilmesi sırasında elde edilen sonuçlarla üst üste bindirilmesinden oluşmaktadır (Şekil 5.32 ve Şekil 5.33). Bu durumda, analiz için model 3 ve 4 kullanılmıştır. Dolayısıyla, her iki model için ve her iki çalışma bölgesinde çeltik tarlaları, çeltik ekimi için arazi uygunluğunun S3 sınıfında (%70'ten fazla) daha fazla temsil edilmektedir. Maritime bölgesinde çeltik tarlalarının %21'i ve %22'si Model 3 ve 4 için sırasıyla S1 arazi uygunluk sınıfındadır. Bu temsil Plateaux bölgesinde düşük olup, Model 4 ve 3 için sırasıyla %5 ve %3,5'tir.



Şekil 5.32: Çeltik tarlalarının arazi uygunluk sınıflarına göre mekânsal dağılımı



Şekil 5.33: Arazi uygunluk sınıflarına göre pirinç tarlalarının mekânsal dağılım haritası

6. TARTIŞMA

6.1. Çeltik Ekim Alanlarının Haritalanması Sonuçlarının Tartışılması

6.1.1. SAR verilerini, SAR'dan türetilen bitki örtüsü metriklerini ve çevre verilerini birleştirmenin önemi

Karmaşık üretim ortamına sahip tropikal iklim koşullarında çeltik haritalama zorluklarına çözüm yaklaşımları bulmak amacıyla, RF algoritmasına dayalı dört çeltik sınıflandırma modeli önerilmiştir. Üç çeltik türü ve karışıklık tablosu metriklerinin analizi göz önüne alındığında, yalnızca S1 VH kullanan Model 1 düşük performans göstermiştir. Diğer sınıflandırma yaklaşımlarına kıyasla bu düşük performanslar, değişken sayısının azlığından ve çalışma alanının karmaşıklığından kaynaklanıyor olabilmektedir. Tüm çeltik türleri için diğer sınıflandırma yaklaşımlarıyla karşılaştırıldığında, Model 1 az sayıda değişkene sahiptir (çeltik türü 2 için 11 ve çeltik türü 1 ve 3 için 14). Diğer değişken kaynakların eklenmesi sınıflandırma sonuçlarını iyileştirmektedir.

Kappa katsayısı dikkate alındığında, sınıflandırma modeline EV'nin eklenmesi, katsayıyı çeltik tipi 1, 2 ve 3 için sırasıyla %53,73, %65,64 ve %24,94 oranında iyileştirmektedir. SAR-VM'nin eklenmesi, katsayıyı çeltik tipi 1, 2 ve 3 için sırasıyla %13,57, %36,72 ve %19,54 oranında iyileştirmektedir. İki kaynağın kombinasyonu ise katsayıyı çeltik tipi 1, 2 ve 3 için sırasıyla %44,07, %62,78 ve %29,01 oranında iyileştirmektedir. Literatürde, çeltik sınıflandırması için SAR zaman serisi görüntülerinin kullanımı iyi sonuçlar vermiş olsa da (Singha et al. 2019), birçok çalışma, sınıflandırma sonuçlarını iyileştirmek için optik görüntüler ve optik ve SAR görüntülerinden türetilen indeksler gibi diğer veri kaynaklarının eklenmesinin önemini göstermiştir (Blickensdörfer et al., 2022 ; Cai et al., 2019). Bu kombinasyon yaklaşımları genellikle SAR polarize bantlarının çeltik ekim döngüsü boyunca çeltik arazilerini tespit etmede başarısız olmasıyla gerekçelendirilmektedir. Teorik olarak, su mevcudiyetinin ve yönetiminin sınırlayıcı faktörler olmadığı yüksek üretim alanlarında, SAR geri saçılım değerleri

suyun varlığı nedeniyle ekim döneminde düşüktür. Daha sonra, çeltik bitkisi hacminden saçılma nedeniyle vejetatif faz sırasında geri saçılımda önemli bir artış gözlenmektedir. Son olarak, pirinç hasadı aşamasında açık topraktan yüzey saçılımı nedeniyle geri saçılımda bir azalma gözlenmektedir (Singha et al., 2019). Çalışma alanında, S1 VH, NDPI, NVHI, VHRVV'nin zamansal profilleri dikkate alındığında, çeltik tipi 1 ekim döngüsünün başında ve sonunda kolayca tanımlanabilmektedir (Bkz. Şekil 6.1). Geliştirme aşamasında, çeltik tip 1'i diğer mahsullerden ayırmak zordur. Bu genellikle çeltik üretiminin yüksek olduğu ve iyi su yönetimi uygulamalarının olduğu bölgelerde görülen tipik bir durumdur. Dolayısıyla bu dönemlere ait S1 VH görüntüleri çeltik sınıflandırmasında önemli olmuştur (Bkz. Şekil 5.2). Ayrıca Soh, VH polarizasyonunun medyanının ekim döneminde çeltik tarlalarını tespit edebildiğini; ancak NDVI'nin maksimum değer bileşiminin diğer büyüme aşamalarında VH polarizasyonundan daha iyi spektrum ayrımı gösterdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, Soh et al. (2022), VH polarizasyonunun medyanının, ekim döneminde çeltik alanlarını tespit edebildiğini göstermiştir. Bununla birlikte, NDVI'nin maksimum değer bileşimi, diğer büyüme aşamaları sırasında VH polarizasyonundan daha iyi spektrum ayrımı gösterdiğini ortaya koymuştur. Buna karşılık, çeltik türleri 2 ve 3'ün sezon başında diğer mahsullerden ayırt edilmesi zordur (Bkz. Şekil 6.2 ve 6.3). Öte yandan, çeltik büyüme aşamasının başlangıcında tanımlama güçlüdür. Bu değişkenlik esasen bir yandan ekim sistemi, diğer yandan da çalışma alanındaki bitki örtüsünün karmaşıklığı ile açıklanabilmektedir. Çeltik tipi 1, esas olarak çeltik ekimi için ayrılmış topraklarda ana sezonun başında yetiştirilmektedir (Bkz. Şekil 4.4). Yani, çeltik ve diğer mahsullerin kombinasyonu pratikte mevcut değildir. Çeltik tipi 2, yağışın uzun sezona kıyasla düşük olduğu kısa sezonun başında yetiştirilmektedir. Çeltik tipi 3, genellikle diğer mahsullerle birlikte sezonun başlarında yetiştirilmektedir. Ayrıca, çeltik türleri 1 ve 2 için, gelişimin belirli aşamalarında, çeltiği VH geri saçılımını yerleşik alanlardan ayırmanın zor olduğu gözlemlenmiştir. Bu aynı zamanda bölgede sadece VH geri saçılımını kullanarak çeltik sınıflandırmasını zorlaştırmaktadır. Çalışma alanında, su kütleleri ve ağaç örtüsü alanları gibi arazi örtüleri, VH geri saçılımı ile çeltikten kolayca ayırt edilmektedir. Bunun temel nedeni, diğer arazi örtülerine kıyasla sırasıyla çok düşük ve yüksek VH geri saçılım değerleri olan su kütlesi ve ağaç örtüsü alanlarıdır.

VH polarizasyon geri saçılımının aksine, NDPI, NVHI ve VHRVV çeltik ile diğer arazi örtülerini daha iyi ayırt edebilmiştir. Aslında, bu yetenek, bu indekslerin, polarimetrik ayrışmalar gibi bir hedef alanın baskın geri saçılma mekanizmasının tanımlanmasına izin vermesi gerçeğiyle ilgili olabilmektedir (Brisco et al., 2011). NDPI, orman biyokütlesi, su kütleleri ve çeltik tarlası haritalama gibi çeşitli çalışmalarda kullanılmıştır. Buna ek olarak Dirgahayu et al. (2019), NDPI'nin çeltik tarlalarını tespit etmek için kullanılabileceğini göstermiştir. Çeltik türünden bağımsız olarak NVHI ve VHRVV'nin zamansal gelişiminin çan şeklinde bir eğilim gösterdiğini fark edilmiştir. Diğer bir deyişle, çeltik yetiştirme döngüsünün başında ve sonunda bu indekslerin değerleri düşüken, büyüme aşamasında değerler yüksektir. Bu indeksler, çeltik dinamiklerini çalışma alanındaki diğer mahsullerden daha iyi izleme kapasitesine sahip olacaktır. Buna göre, NVHI bar toprakları bitki örtüsünden ayırmak için başarıyla kullanılmış ve optik NDVI ve toprak üstü biyokütle ile iyi bir korelasyona sahip olmuştur (Periasamy et al., 2018). Mandal et al. (2020), NVHI'nın farklı mahsuller için bitki büyüme dinamiklerinin bir göstergesi olarak kullanılabilişliğini değerlendirmiş ve bitki alanı indeksi, bitki örtüsü su içeriği ve kuru biyokütle gibi biyofiziksel değişkenlerle iyi bir korelasyona sahip olduğunu göstermiştir. VHRVV'nin su basmış bitki örtüsünü su basmamış bitki örtüsünden ve sudan etkili bir şekilde ayırdığı bulunmuştur (Brisco et al., 2011). Ayrıca, bireysel kanal geri saçılım tepkisi ile karşılaştırıldığında, tahılların taze biyokütlesi ve NDVI ile iyi korelasyon gösterdiği gösterilmiştir (Veloso et al., 2017). Bu çalışmada, yerleşik alanlar için VHRVV'de testere dişi şeklinde bir eğilim kaydedilmiştir. Bu eğilim diğer arazi kullanımlarından tamamen farklıdır. Bu indeks, yerleşik alanlarda çeltiğin ayrıştırılması için önemli olacaktır.

Xu et al. (2021), tarımsal olmayan nesnelere kıyasla mahsul kanopisindeki dramatik değişiklik nedeniyle, yıllık SAR gözlemlerindeki geri saçılımın zamansal varyansı, ekili arazileri diğer arazi örtülerinden ayırmanın anahtarıdır. Dolayısıyla, zamansal varyans (BTV), çeltiğin Maritime bölgesindeki diğer arazi örtülerinden ayırt edilmesi için iyi bir değişken olmuştur (Bkz. Şekil 5.2). Bunun başlıca nedeni, bu bölgede çoğu yetiştirme alanında çeltik ekimi için su kontrolünün Plateaux bölgesine kıyasla iyi olmasıdır. Çeltik, özellikle kardeşlenme ve salkım başlatma aşamaları olmak üzere iki gelişim evresinde kuraklığa karşı hassas bir üründür. Çeltik gelişim döngüsü boyunca su eksikliği, çeltik ve diğer ürünlerin büyüme

aşamaları arasında çok fazla değişkenliğe izin vermeyecektir. Maritime bölgesi ekim sisteminde elde edilen çeltik verimi genellikle Plateaux bölgesi ekim sisteminde elde edilenlerden daha yüksektir (Dossou-Yovo et al., 2020).

Çevresel değişkenlerle ilgili olarak, DPW ve Yükseklik, Maritime bölgesinde çeltik tespitinde daha önemli olmuştur (Bkz. Şekil 5.2). Açıklandığı gibi, bu bölgede çeltik ekimi genellikle nehirlerle yakın yerlerde yapılmaktadır. Bu bölgede, SAR VH geri saçılım zaman serisine EV eklemek, Model 3 ve 4'e kıyasla iyi performans göstermektedir. Ancak, Model 3 ve 4'te kullanılan değişken sayısının Model 2'den daha fazla olduğu unutulmamalıdır. Sınıflandırma modeline bağlı olarak, değişken sayısındaki sistematik bir artışın metrik değerlerde sistematik olarak bir iyileşmeye yol açmadığı fark edilmiştir. Buna karşılık, Plateaux bölgesinde, Yükseklik önem açısından en iyi değişken olmasına rağmen, diğer değişkenlerin katkısı da önemli olmuştur. EV'nin amacı S1 VH'ye tamamlayıcı bilgi sağlamaktır. EV'nin daha önemli olduğu ve S1 VH değişkenlerinin önemsiz olduğu sınıflandırma stratejilerinde (örneğin, çeltik tipleri 1 ve 2'de Model 2), çeltik alanlarının haritalanmasında aşırı bir tahmin gözlemlenmiştir. Öte yandan, S1 VH'deki değişkenler de anlamlı olduğunda (Model 4'te olduğu gibi), çeltik alanları kabul edilebilirlik sırasına göre haritalanmaktadır. Diğer çalışmalar da mahsul sınıflandırmasında EV'nin önemini vurgulamıştır. Blickensdörfer et al. (2022), statik çevresel değişkenler, mahsul fenolojisindeki bölgesel farklılıkları açıklamaya yardımcı oldukları için önemli belirleyicilerdir. Aslında, Yükseklik çeltik haritalaması için önemli bir değişken olup, yağış, sıcaklık ve buharlaşma dahil olmak üzere mikro iklim üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir (Guo et al., 2018). Çeltik fizyolojik süreçlerini ve tarla yönetimi uygulamalarını etkilemektedir (Abayawickrama et al., 2017; Boshuwenda et al., 2020). Akpoti et al. (2020), çalışma alanında, arazi yüksekliğinin çeltik uygunluk haritalaması için önemli bir değişken olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada, eğim ve TWI çeltik tarlalarının haritalanmasında diğer EV'lere kıyasla çok önemli değildir.

6.1.2. Haritalama sonuçlarının güvenilirliği

Haritalama modellerinin karışıklık matrisi metriklerinin değerlendirilmesi, çeltik tiplerinden bağımsız olarak iyi sonuç vermiştir. Tüm çeltik tipleri için, Model

2 ve 4, Model 1 ve 3'e kıyasla en iyi OA ve Kappa değerlerini vermiştir. Bu sonuçlar esas olarak bu modellerde yer alan değişkenlerin kaynağı ile açıklanabilmektedir. Gerçekten de S1 VH ile bağlantılı değişkenler dışında, Model 2 ve 4'ün ortak noktası EV'dir. Böylece, bu EV'nin eklenmesi çeltik sınıflandırmasında önemli bir rol oynamıştır. Maritime bölgesinde (çeltik tipi 1 ve 2), DPW değişkeni çeltiğin tanımlanmasında önemlidir. Bunun başlıca nedeni bu bölgede gelişmiş olan çeltik ekim sistemidir. Maritime bölgesinde genellikle tam veya kısmi su yönetimi ile sulu çeltik yetiştiriciliğine rastlanmaktadır. Bu tür çeltik yetiştiriciliğinde ana su kaynakları barajlar, nehirlerden su saptırılması ve kuyulardan pompa ile sulamadır (Saito et al., 2013). Plateaux bölgesi ile ilgili olarak, yükseklik önemli bir rol oynamıştır. Bu bölgede çeltik genellikle su yönetiminin zayıf olduğu ya da neredeyse hiç olmadığı iç vadilerde yetiştirilmektedir. İç Vadiler, vadi tabanlarını ve bunların hidromorfik saçaklarını içeren nehir sistemlerinin üst kısımları olarak tanımlanmaktadır (Rodenburg et al., 2014). Bununla birlikte, iki çalışma bölgesinde, UA'yı analiz ederek, Model 3 ve 4'ün Model 2'ye kıyasla daha iyi bir sonuç verdiğini görüyoruz. Dolayısıyla, AU'nun sınıflandırılmış haritadaki belirli bir arazi kullanım sınıfı pikselinin zemindeki arazi kullanım sınıfını temsil etme olasılığını gösterdiği göz önüne alındığında (Waleed et al., 2022), Model 2'nin çalışma bölgesindeki çeltik alanlarını olduğundan fazla tahmin ettiğini varsayabiliriz. Gerçekten de, her iki bölgede de Model 2 çeltik tarlalarını ağaçlardan, çalılardan ve yerleşim alanlarından iyi bir şekilde ayırt edememiştir. Buna ek olarak, Model 3 ve 4 ile karşılaştırıldığında, ekili alanlarda çeltik olarak sınıflandırılan az sayıda piksel bulunmaktadır.

Çalışma alanı üzerinde, Model 3 ve 4'ün tahmin ettiği alan, rapor edilen alana neredeyse eşittir. İlçeler göz önüne alındığında, Plateaux bölgesinde, Danyi ve Wawa ilçelerinde tahmini alanın düşük tahmin edildiği gözlemlenmiştir. Metodolojik haritalama yaklaşımı göz önünde bulundurulduğunda, Wawa ve Danyi bölgeleri düzeyinde gözlemlenen düşük tahminler, bu bölgelerde genellikle tamamen yağmurla beslenen çeltik ekiminin yapılmakta olmasıyla açıklanabilmektedir. Bunlar iyi yağış alan dağlık bölgelerdir. Maritime bölgesinde, ana çeltik üretim bölgelerinde (Zio, Ave, Bas-mono ve Yoto) Model 3 ve 4 ile tahmin edilen alan, rapor edilen alana kıyasla ya neredeyse eşit ya da düşük tahmin

edilmiştir. Bu nedenle, Model 4 ve 3 karmaşık bir ortamda büyük ölçekli çeltik haritalaması için tatmin edici yaklaşımlar olabilmektedir.

6.2. Mevcut ve Gelecekteki İklim Değişikliği Koşulları Altında Çeltik Ekimi için Arazi Uygunluğu Değerlendirme Sonuçlarının Tartışılması

6.2.1. Arazinin uygunluğunun değerlendirilmesinde kriterlerin önemi

Uzmanların kararına dayalı olarak kriterlerin ağırlıklandırılması, iklimsel kriterler için ortalama yağışın çalışma alanındaki sıcaklıktan daha önemli olduğunu göstermiştir. Bu sınıflandırma, yağmurun mutlak bir iklim unsuru olduğu gerçeği ile gerekçelendirilebilir. Çalışma alanında yağış, çeltik yetiştirme sezonunu tetikleyen ilk unsurdur. Çok kriterli analize dayanan çeşitli çalışmalar da yağışın sıcaklık üzerindeki önemini göstermiştir (Rukhsana and Molla, 2022). Ancak literatürde, diğer çalışmalarda yağışa kıyasla sıcaklığa daha fazla önem verilmiştir (Ayehu and Besufekad, 2015). Toprakla ilgili kriterlere ilişkin olarak, uzmanların değerlendirmeleri toprağın dokusunun diğer kriterlere kıyasla daha önemli olduğunu göstermektedir. Gerçekten de çalışma alanında, çeltik ekimi için yer seçiminde çiftçiler tarafından dikkate alınan toprakla ilgili ilk kriter dokudur (tekstür). Genel olarak, yüksek kil dokusuna sahip topraklar tercih edilmektedir. Çeltik ekimi genellikle sudan yararlanan bir mahsul olarak kabul edildiğinden, çeltik tarlasının kalıcı suya yakınlığı erişilebilirlik kriterleri arasında önemli bir faktör olmuştur. Faktörlerin önemi göz önüne alındığında, uzmanlar toprak faktörüne diğer faktörlerden daha fazla önem vermiştir. Toprak ve iklim faktörleri arasında verilen ağırlıklar arasındaki farkın yeterince yüksek olmadığı belirtilmelidir. Bu sonuç temel olarak, çalışma alanında çeltik üretiminde ilk dikkate alınan faktörlerin iklim ve toprak olmasıyla açıklanmaktadır. Diğer çalışmalar da aynı sonuca ulaşmıştır (Maddahi et al., 2017). Ancak, toprak ve iklim faktörlerinin birbirinden ayırt edilmesindeki güçlüğü altı çizilmelidir. Bu, çok kriterli analize dayalı yöntem için önemli bir sınırlama teşkil etmektedir. Bu sınırlama klasik AHP'ye dayalı metodolojide daha önemlidir (Konan-Waidhet et al. 2015). Bu nedenle, veri odaklı yaklaşıma dayalı kriter ağırlıklandırma metodolojilerinin kullanılması büyük önem taşımaktadır.

Niş ekolojisi modelleme yöntemine (MaxEnt) dayalı değişkenlerin önemi bölgeler arasında farklılık göstermektedir. Bu farklılık temel olarak kullanılan değişkenlerin doğasından ve iki bölgede geliştirilen çeltik ekim sisteminin tipinden kaynaklanmaktadır. Genel olarak, her iki bölgede de en iyi beş kriter veya değişken iklim ve toprak faktörleriyle (özellikle doku) ilgilidir. Değişkenlerin önemi ve Jackknife testi sonuçlarının derinlemesine analizi, Plateaux bölgesinde çeltik üretimini belirleyen faktörlerin esas olarak iklimsel olduğunu göstermektedir (Mevsimsel sıcaklık, En nemli çeyreğin ortalama sıcaklığı, En kurak çeyreğin ortalama sıcaklığı, Yıllık yağış ve En kurak aydaki yağış miktarı). İki metodolojinin kriterlerinin veya değişkenlerinin önemi arasında karşılaştırmalı bir analiz yaparak, uzmanların yargısına dayalı değerlendirmede tarafsızlık eğilimi verilebilir. Çünkü her iki metodoloji iklim ve toprakla ilgili faktörlere önem vermiştir.

6.2.2. Arazi uygunluk değerlendirmesi için MaxEnt ve FAHP yöntemleri arasındaki farklar

FAHP ve MaxEnt tabanlı metodolojinin çeltik ekimi için arazi uygunluk değerlendirmesinin sonuçları arasındaki karşılaştırmalı analizden, uygunluk sınıfları arasında açık bir fark görülmektedir. FAHP tabanlı yöntem için S2 sınıfı en temsili sınıftır. Ancak, MaxEnt yöntemi için S3 sınıfı en temsili sınıftır. FAHP yöntemi ile S2 sınıfının bu yüksek temsil kabiliyeti, iklim ve toprak faktörü kriterlerinin bu sınıfta daha fazla temsil edilmesinden kaynaklanmaktadır. Bir gösterge olarak, çalışma alanında, çeltik gereksinimlerine dayalı kriterlerin yeniden sınıflandırılması, çalışma alanının büyük bir kısmının yağış ve ortalama sıcaklık gibi iklim kriterlerinin S2 sınıfında olduğunu göstermektedir. FAHP yönteminin temel olarak uzman görüşüne ve çeltik ekiminin gerekliliklerine dayandığı vurgulanmalıdır. Dolayısıyla, iklim ve toprak faktörlerinin ağırlığı diğer faktörlere göre daha önemli olduğundan, FAHP yöntemi S2 arazi uygunluk sınıfını olduğundan fazla tahmin etmiştir. İlçeler düzeyinde yapılan analiz, Maritime bölgesinde, FAHP yöntemi ile S1 sınıfının Lacs, Zio ve Golfe ilçelerinde daha fazla temsil edildiğini göstermektedir. Ancak, MaxEnt yöntemi ile S1 sınıfı Zio, Bas-Mono ve Avé ilçelerinde daha fazla temsil edilmektedir. Plateaux bölgesi ile ilgili olarak, FAHP yöntemi için, S1 sınıfı Wawa, Akébou, Danyi ilçelerinde daha fazla temsil edilmektedir. Ancak, MaxEnt yöntemi ile S1 sınıfı Kpélé, Amou ve Haho

ilçelerinde daha fazla temsil edilmektedir. Bu iki sonuç ulusal düzeyde rapor edilen alanlarla (DSID, 2019) karşılaştırıldığında, MaxEnt yöntemi daha kabul edilebilmektedir. Bunun başlıca nedeni, MaxEnt yönteminin modelleme sürecinde çeltik tarlalarının varlığına dayanmasıdır. Buna ek olarak, modelleme için çeşitli değişkenlerin kullanılması, bölgedeki çeltik gelişimi için çok ihtiyaç duyulan bilgilerin elde edilmesini sağlamaktadır. Ancak, FAHP yöntemi mahsulün gereksinimlerine dayanmaktadır. Maritime bölgesinde, Lacs ilçesindeki arazinin çeltik ekimi için daha uygun olduğu düşünülmekle birlikte gerçekte ilçede çok fazla çeltik tarlası bulunmamaktadır. Bu sonuç, ilçenin çok fazla suya, eğime ve çeltik ekimine elverişli bir toprak dokusuna sahip olmasıyla açıklanmaktadır. Bu ilçede çok sayıda sulak alan ve mangrov bulunmaktadır. Ancak bu alanlara erişim çok zordur. Togo'da çeltik ekiminin genellikle söz konusu bölgedeki mahsulün tarihsel karakteriyle bağlantılı olduğu da unutulmamalıdır. Yani çeltik ekimine, bu mahsulün tarihsel ve kültürel olarak uygulandığı alanlarda rastlanmaktadır. Dolayısıyla, Jaccard benzerlik testi iki yöntemin uygunluk sınıfları arasında çok düşük bir benzerlik gösterdiğinden, bu iki metodolojinin aynı hedeflere sahip olmadığını varsayabiliriz.

Malczewski (2004), Arazi Uygunluk Analizi, mahsul gereksinimi ve arazi özelliklerinin bir fonksiyonudur. FAO'ya göre arazi uygunluğu, belirli bir arazi türünün tanımlanmış bir kullanım için uygunluğudur. Arazi mevcut haliyle veya iyileştirmelerden sonra değerlendirilebilmektedir. Arazi uygunluk sınıflandırması süreci, belirli arazi alanlarının tanımlanmış kullanımlar için uygunlukları açısından değerlendirilmesi ve gruplandırılmasıdır. Bu tanımlara dayanarak, arazinin mahsul geliştirme potansiyeline sahip olabileceği ancak kullanılamayacağı sonucuna varılabilmektedir. Dolayısıyla, arazinin kullanılmaması, arazinin mahsul yetiştirmeye uygun olmadığı anlamına gelemez. Eğer FAO tanımı toprağın iyileştirilmesi sürecini de arazinin uygunluğuna dahil ediyorsa, bu, arazinin uygunluğunun değerlendirilmesi sürecinde dikkate alınması gereken ilk koşulların tarımsal ve iklimsel uygunluk olduğu anlamına gelmektedir. Bir mahsulün gereksinimi iki açıdan anlaşılabilir: bir yandan agronomik (tarımsal) ve iklimsel uygunluk, diğer yandan verimlilikle ilgili uygunluktur. Yani, arazi mahsul yetiştirmeye uygun olabilir ancak iyi bir verimlilik sağlama kapasitesine sahip olmayabilir (diğer tüm şeyler eşit olduğunda). Başka bir deyişle, burada, çeşit

geliştirmeye bağlantılı veya çiftçilik teknikleriyle bağlantılı potansiyeli hesaba katmadan toprağın doğal kapasitesiyle bağlantılı üretkenliğe atıfta bulunuyoruz. Bu nedenle, arazi uygunluğunun değerlendirilmesinin, değerlendirici tarafından tanımlanan hedeflerle bağlantılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Arazi uygunluk değerlendirmesi sürecinde, belirli bir mahsulün ekimi için arazi uygunluğu tipleri arasında ayırım yapmak önemlidir. Bu durumda arazinin tarımsal-iklimsel uygunluğu ile verimlilik uygunluğu arasında bir ayırım yapılabilmektedir. FAHP yöntemine dayalı arazi uygunluk analizi, arazinin belirli bir mahsulün verimliliğine uygunluğunu değerlendirmek için bir yöntem olarak düşünülebilmektedir. MaxEnt yöntemine dayalı arazi uygunluk analizi değerlendirme yöntemi, arazi tarımsal-iklimsel uygunluk değerlendirme yöntemi olarak kabul edilebilmektedir. Bu nedenle bu yöntemlerin tamamlayıcı bir şekilde kullanılmasını kullanılımasının uygun olacağı görüşüne varılmıştır. Bu durumda, mahsulün tarımsal-iklimsel uygunluğunu tanımlamak için önce MaxEnt yönteminin ve ardından verimlilikle ilgili uygunluğu belirlemek için FAHP yönteminin uygulanması önemlidir.

6.2.3. Çeltik ekimi için gelecekteki arazi uygunluğunun mekânsal dağılımı

Bu çalışmada, iklim senaryolarının arazinin çeltik ekimi için uygunluğu üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Burada iklim değişikliği, modelimizde temsil edilen iklimsel değişkenlerde referans değerlere göre gelecekte meydana gelecek değişiklikler anlamına gelmektedir. Maritime bölgesi için dikkate alınan iklim değişkenleri şunlardır: Sıcaklık değişim aralığı (BIO2), İzotermalite (BIO3), Mevsimsel sıcaklık (BIO4), En sıcak ayın maksimum sıcaklığı (BIO5), Yıllık yağış (BIO12), En nemli aydaki yağış miktarı (BIO13), Mevsimsel yağış miktarı (Değişim katsayısı) (BIO15) ve En kurak çeyreğin yağış miktarı (BIO17). Plateaux bölgesi ile ilgili olarak, dikkate alınan iklim değişkenleri şunlardır: Mevsimsel sıcaklık (BIO4), En nemli çeyreğin ortalama sıcaklığı (BIO8), En kurak çeyreğin ortalama sıcaklığı (BIO9), Yıllık yağış (BIO12), ve En kurak aydaki yağış miktarı (BIO14). Ancak Jackknife testinin analizine göre iklim değişkenleri dikkate

alındığında ilk üç değişken Maritime bölgesi için BIO12, BIO2 ve BIO4 ve Plateaux bölgesi için BIO14, BIO4 ve BIO12'dir.

Sonuçlar, iklim değişikliğinin arazi uygunluğu üzerindeki etkilerinin bir bölgeden diğerine değiştiğini göstermektedir. Dolayısıyla, genel olarak, incelenen tüm senaryolar altında, Plateaux bölgesinde, iklim değişikliği S1 ve S2 arazi uygunluk sınıfı alanlarında bir artışa yol açacaktır. Yani iklim değişikliği, Plateaux bölgesindeki arazinin uygunluğunu artırmaktadır. İklim değişikliğinin etkisiyle arazinin çeltik ekimine uygunluğundaki bu artış, temel olarak bölgenin coğrafi konumu ve topolojisinden kaynaklanmaktadır. Gerçekten de bölge, Maritime bölgesine kıyasla iyi bir yağış oranına sahiptir. Böylece, iklim değişikliğinin bölgedeki iklim değişkenleri üzerindeki etkisi analiz edilerek, iklim değişikliğinin BIO12 ve BIO4'te artışa yol açacağı görülmektedir. Ayrıca, Plateaux bölgesi yüksek bir rakımdadır (deniz seviyesinden ortalama 250 m yükseklikte). Castro-Llanos et al. (2019), iklim değişikliği yüksek rakımlarda çeltik üretimini desteklemektedir. Aynı sonuçlar Akpoti et al. (2022) tarafından çalışma alanında elde edilmiştir. Bu yazarlara göre, başlangıçta uygun olan ve dağ sıralarında ve diğer yüksek rakımlı alanlarda bulunan çeltik tarlaları çoğunlukla uygun kalmıştır. Devkota and Paija (2020) çeltik verimi ile yağış miktarı arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki olduğunu göstermiştir. Yazarlara göre yağış miktarındaki 1 mm'lik artış çeltik verimini yüzde 0,65 oranında artırmaktadır. Genel olarak, Plateaux bölgesi için, referans dönemine kıyasla arazi uygunluğundaki artışlar, 2050 döneminde 4,5 ve 8,5 senaryoları için ve 2070 döneminde 2,6 ve 4,5 senaryoları için daha büyüktür. Ayrıca, 2050'den 2070'e kadar olan dönemde, 2.6 ve 4.5 senaryoları altında arazi uygunluğunda bir artış ve 8.5 senaryosu altında arazi uygunluğunda bir azalış söz konusudur. Aslında RCP2.6 "Düşük emisyonlar" olarak bilinmektedir. RCP4.5 "Ara emisyonlar" olarak bilinmektedir ve artan verim ve diyet değişiklikleri nedeniyle azalan ekim alanı ve otlak kullanımı, sabit metan emisyonları ve 2040 civarında düşüş başlamadan önce çok az artan CO₂ emisyonlarından oluşmaktadır. RCP8.5 "Yüksek emisyonlar" olarak bilinmektedir ve metan emisyonlarında hızlı bir artış, fosil yakıtlara aşırı bağımlılık, yüksek enerji yoğunluğu, 2100 yılına kadar 12 milyarlık bir dünya nüfusu ve nüfus artışına bağlı olarak artan ekim alanları ve otlak kullanımından oluşmaktadır (IPCC, 2014). Bu tanımlar dikkate alındığında, iklim değişikliği bölgede arazi uygunluğunun

artmasına neden olacak olsa da, yüksek sera gazı emisyonu senaryosu altında bu seviye zaman içinde azalacaktır. Akpoti et al. (2022) 8.5 senaryosu altında arazi uygunluğunda bir azalma olduğunu göstermiştir.

Maritime bölgesinde, etkiler bir ilçeden diğerine değişiklik göstermektedir. Dolayısıyla, 2050 dönemi için, Zio ilçesinde (S1 sınıfının en yüksek temsiline sahip ilçe), referans döneme kıyasla farklı iklim değişikliği senaryoları altında S1 sınıfı alanında bir artış görülmektedir. Ancak, Bas-Mono ilçesinde, 8.5 senaryosu altında elde edilen alan hariç, diğer iki senaryo için elde edilen alanlar referans dönem altında elde edilenlerden daha düşüktür. Ayrıca, Avé ilçesinde 4.5 ve 8.5 senaryoları altında elde edilen alanlarda, referans dönem altında elde edilen alana kıyasla bir azalış söz konusudur. Zio ilçesinde, BIO 12 (Senaryolar 4.5 ve 8.5) hariç, iklim değişkenlerinin projeksiyonları (2050 ve 2070) tüm senaryolar (2.6, 4.5 ve 8.5) için referans döneminden (1970-2000) daha yüksektir. Bas-Mono ilçesinde ise, BIO 12 ve BIO 3 hariç (tüm senaryolar için), iklim değişkenlerinin projeksiyonları tüm senaryolar için referans döneminden daha yüksektir. Zio ilçesinde, 4.5 ve 8.5 senaryoları altında yağış miktarındaki azalmaya rağmen, arazinin uygunluğunda referans dönemine kıyasla bir artış görülmektedir. Bu sonuçlar, ilçede uygulanan çeltik yetiştirme sisteminin sulu sistem olmasıyla açıklanabilmektedir. Dolayısıyla ilçede yağış miktarının azalması, ilçe arazisinin çeltik üretimi için uygunluğunu etkilememektedir. Sulama için kullanılan su Zio Nehri'nden yönlendirilmektedir. Zio Nehri'nin kaynağı Plateaux bölgesindeki dağlarda bulunmaktadır. Dolayısıyla, nehrin yeniden dolması daha çok Plateaux bölgesindeki yağışlarla bağlantılıdır. Bas-Mono ilçesinde, arazi uygunluğundaki azalma temel olarak yağış miktarındaki azalma (BIO12) ve sıcaklıktaki değişimden (BIO3-İzotermalite) kaynaklanmaktadır. İzotermalite, yaz mevsimine kıyasla gece ve gündüz arasındaki sıcaklık salınımının büyüklüğünü ölçer. Literatürde, sıcaklık değişkenliğinin mahsul gelişimi üzerindeki etkisini gösteren birçok çalışma bulunmaktadır. Buna ek olarak, 2050'den 2070'e kadar olan dönemde, Zio ilçesinde tüm senaryolar altında uygunluk alanında bir azalış görülmektedir. Bas-Mono ilçesinde ise 2.6 senaryosu altında uygunluk alanında bir azalış ve 4.5 ve 8.5 senaryoları altında uygunluk alanında bir artış görülmektedir. Bu sonuçlar, Bas-Mono ilçesinde aşırı senaryoların yağış miktarında artışa yol açmasıyla açıklanabilmektedir.

6.2.4. Çeltik yetiştiriciliğinin analizi ve iklim değişikliğine uyum yaklaşımı

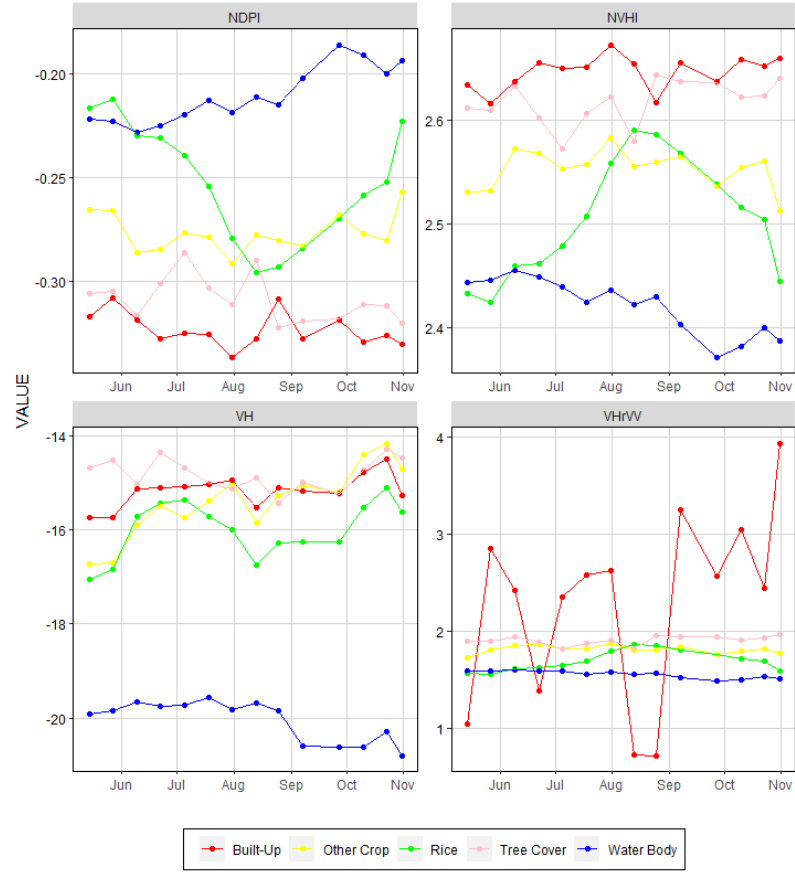
Çalışma alanında, karşılaşılan çeltik alanlarının çoğunun S3 arazi uygunluk sınıfında olduğu belirtilmektedir (Bkz. Şekil 5.33). Bununla birlikte, Maritime bölgesinde karşılaşılan çeltik alanlarının yaklaşık %21'i S1 arazi uygunluk sınıfındayken, bu oranın Plateaux bölgesinde yaklaşık %4,5 olduğunu belirtmek gerekmektedir. Çalışma alanındaki çeltik tarlalarının bu dağılımı, çeltik çiftçileri tarafından elde edilen verimleri açıklamaktadır. Nitekim FAO'ya göre S3 arazi uygunluk sınıfı, genel olarak belirli bir kullanımın sürekli uygulanması için ciddi sınırlamalara sahip olan ve bu nedenle verimliliği azaltacak veya gerekli girdileri artıracak arazilerdir. Buna karşılık, arazi uygunluk sınıfı S1, belirli bir kullanımın sürekli olarak uygulanmasında önemli bir sınırlama olmadığı veya yalnızca verimliliği önemli ölçüde azaltmayacak küçük sınırlamalar olduğu şeklinde tanımlanmaktadır. DSID (2019), 1996'dan 2019'a kadar ortalama çeltik verimi Plateaux ve Maritime bölgeleri için sırasıyla 1,53 ton/ha ve 2,14 ton/ha'dır. Ancak Plateaux bölgesinde ekilen alan daha fazladır (aynı dönemde Maritime bölgesinde 3092 hektara kıyasla 16 822 hektar). Çalışma alanında en yaygın olarak kullanılan pirinç çeşidinin (IR 841) potansiyel veriminin 6 ton/ha olduğu da unutulmamalıdır. Bu koşullar altında, çiftçilerin yer seçmesine olanak tanıyan stratejilerin uygulamaya konulması önem taşımaktadır. Çalışma alanındaki yer seçimi, sürdürülebilir çeltik yetiştiriciliğini teşvik etme sürecinin ilk adımı gibi görünmektedir.



Şekil 6.1: S1-VH ve SAR-VM'nin zamansal profilleri (çeltik tip 1)



Şekil 6.2: S1-VH ve SAR-VM'nin zamansal profilleri (çeltik tip 2)



Şekil 6.3: S1-VH ve SAR-VM'nin zamansal profilleri (çeltik tip 3)

7. SONUÇ

Çeltik üretim alanlarının yüksek mekânsal çözünürlüklü haritalarının geliştirilmesi, sürdürülebilir tarımın teşvik edilmesinde önemli bir adım ve tarımsal planlama için ise bir tarımsal planlama için bir karar verme aracıdır. Bu çalışmada, karmaşık bir ekim ortamında çeltik alanlarını haritalama zorluğunu karşılamak için esas olarak zaman serisi Sentinel-1 görüntülerine ve çevresel değişkenlere dayanan dört çeltik sınıflandırma modeli önerilmiştir. Diğer değişken kaynakların eklenmesi, sonuçların önemli ölçüde iyileştirilmesini mümkün kılmıştır. S1 VH ile karşılaştırıldığında, NVHI, NDPI ve VHRVV gibi SAR-VM, çalışma bölgesindeki çeltik alanlarını daha iyi ayırabilmektedir. Bu çalışma aynı zamanda VHRVV indeksinin yerleşik alanlarla ilgili tekilliğini gözlemlemeyi mümkün kılmıştır. Mahsul su yönetimi uygulamalarının mevcut olduğu çeltik yetiştirme alanlarında, VH geri saçılım zamansal varyansını kullanarak çeltikleri diğer mahsullerden ayırabilmek gerekmektedir. Çeltik alanlarını haritalamak için makine öğrenimi yaklaşımını kullanırken, sınıflandırma algoritmasına entegre edilecek çevresel değişkenleri dikkatlice seçmek önemlidir. Çünkü bazı değişkenler, sınıflandırma modellerine entegre edildikten sonra çeltik ekim alanlarını olduğundan fazla gösterme eğilimindedir. Bu çalışmada, DPW çeltik alanlarının fazla tahmin edilmesine katkıda bulunmuştur. Öte yandan, yükseklik, büyük ölçekli çalışmalarda çeltik haritalama yöntemlerinde dikkate alınması gereken önemli bir değişkendir.

Sınıflandırma modellerinin tüm sonuçları göz önüne alındığında, S1 VH, SAR-VM ve EV kombinasyonunun (model 3 ve 4) çeltik bölgelerini büyük ölçekte ve karmaşık bir çeltik ekim ortamında haritalama girişiminde umut verici yaklaşımlar oluşturacağı sonucuna varılmıştır. Bu çalışma, karmaşık bir ortamda çeltik haritalamada zaman serisi S1 görüntülerinin sunduğu potansiyel ve bunlardan türetilebilecek parametreler hakkında fikir vermiştir.

Çeltik tarlalarının haritalanması ve izlenmesi, sürdürülebilir çeltik yetiştiriciliğine yönelik önemli adımlardır. Ancak, sistemin bir bütün olarak sürdürülebilirliğini artırmak için, ekime uygun alanları belirleyebilmek çok önemlidir. Tanım gereği, bir arazinin uygunluğu dinamik bir olgudur ve bu nedenle

zaman içinde değişmesi muhtemeldir. Bu nedenle, iklimsel değişkenlik, belirli bir mahsullün geliştirilmesi için bir arazinin uygunluğunu etkileyebilecek önemli bir faktördür. Bu çalışma, karşılaştırmalı bir yaklaşımla arazinin çeltik ekimi için uygunluğunu değerlendirmiştir. İki arazi uygunluk değerlendirme yöntemi karşılaştırılmıştır. Her iki yöntemin de amacı arazinin çeltik ekimi için uygunluğunu değerlendirmek olsa da, aynı sonucu vermezler. FAHP yaklaşımına göre, çalışma alanındaki arazinin çoğunluğu S2 uygunluk sınıfındadır. Ancak, MaxEnt yaklaşımına göre, çalışma alanındaki arazinin çoğunluğu S3 uygunluk sınıfındadır. MaxEnt yaklaşımına dayalı yöntemin sonuçlarının mekânsal dağılımı daha makuldür. Bu nedenle, iki metodolojinin aynı amaç için kullanılmaması gerektiği sonucuna varılmıştır. Her bir yaklaşımın dayandığı varsayımlara atıfta bulunarak, her bir yaklaşımın kullanım alanları tanımlanmıştır. Bu durumda arazinin tarımsal-iklimsel uygunluğu ile verimlilik uygunluğu arasında bir ayrım yapılabilmektedir. FAHP yöntemine dayalı arazi uygunluk analizi, arazinin belirli bir mahsulün verimliliğine uygunluğunu değerlendirmek için bir yöntem olarak düşünülebilmektedir. MaxEnt yöntemine dayalı arazi uygunluk analizi değerlendirme yöntemi ise, arazi tarımsal-iklimsel uygunluk değerlendirme yöntemi olarak kabul edilebilmektedir. Bu nedenle bu yöntemlerin tamamlayıcı bir şekilde kullanılmasını kullanılmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Bu durumda, mahsulün tarımsal-iklimsel uygunluğunu tanımlamak için önce MaxEnt yönteminin ve ardından verimlilikle ilgili uygunluğu belirlemek için FAHP yönteminin uygulanması önemlidir.

Bu çalışmanın sonuçlarına göre, çalışma alanındaki iklim değişikliği bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Plateaux bölgesinde iklim değişikliği, iklim değişkenlerinde artışa yol açacaktır. Böylece, iklim değişkenlerindeki artış, arazinin çeltik ekimi için uygunluğunun artmasına yol açacaktır. Ancak, Maritime bölgesinde iklim değişikliği yıllık ortalama yağış miktarında azalmaya yol açacaktır. Yağışlardaki bu azalma, çeltik ekiminin tamamen yağışa bağlı olduğu alanlarda arazi uygunluğunun azalmasına neden olmaktadır. Buna karşılık, çeltiğin su kontrollü bir ortamda yetiştirildiği ilçelerde, yağışlardaki azalma arazi uygunluğunu olumsuz etkilememiştir. Bu bağlamlarda, her bir bölge veya üretim alanı için özel eylemlerin belirlenmesi gerekmektedir. Örneğin, çeşit geliştirme programları bu bölgesel değişkenliği dikkate almalıdır. Yağışlardaki artışın sele yol

açabileceği de unutulmamalıdır. Bu nedenle, sürdürülebilir arazi yönetimi ve taşkın kontrol stratejilerinin uygulamaya konulması önemlidir. Bu durumda erken uyarı sistemleri, özellikle Plateaux bölgesinde iklim değışikliğine uyum sağlamak için iyi bir araç olacaktır. Üretim faktörlerinin dijitalleştirilmesi ve başta meteorolojik bilgiler olmak üzere bilgiye erişim, iklim değışikliğine uyum sürecinde çok önemli olacaktır.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abayawickrama, A. S. M. T., Reinke, R. F., Fitzgerald, M. A., Harper, J. D. I., and Burrows, G. E.,** 2017, Influence of high daytime temperature during the grain filling stage on fissure formation in rice. *Journal of Cereal Science*, 74: 256–262. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2017.02.013>
- Aczel, J. and Saaty, T.,** 1983, Procedures for Synthesizing Ratio Judgements. *Journal of Mathematical Psychology*, 27, 93-102.
- Agresti, A.,** 1996, An Introduction to Categorical Data Analysis. New York, N.Y: Wiley.
- Akıncı, H., Özalp, Y. and Turgut, B.,** 2013, Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. *Computers and Electronics in Agriculture* 97: 71–82. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.07.006>.
- Akpoti, K., Groen, T.; Dossou-Yovo, E., Kabo-bah, A. T. and Zwart, S. J.,** 2022, Climate change-induced reduction in agricultural land suitability of West-Africa's inland valley landscapes, *Agricultural Systems*, 200: 103429, ISSN 0308-521X
- Akpoti, K., Dossou-Yovo, E. R., Zwart, S. J. and Kiepe, P.,** 2021, The potential for expansion of irrigated rice under alternate wetting and drying in Burkina Faso. *Agricultural Water Management*, 247: 106758. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2021.106758>
- Akpoti, K., Groen, T., Dossou-Yovo, E., Kabo-bah, A. T. and Zwart, S. J.,** 2022, Climate change-induced reduction in agricultural land suitability of West-Africa's inland valley landscapes. *Agricultural Systems*, 200. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103429>
- Akpoti, K., Kabo-bah, A. T. and Zwart, S. J.,** 2019, Agricultural land suitability analysis: State-of-the-art and outlooks for integration of climate change analysis. In *Agricultural Systems*, Vol. 173, pp. 172–208, Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.02.013>

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Akpoti, K., Kabo-bah, A. T., Dossou-Yovo, E. R., Groen, T. A. and Zwart, S. J.,** 2020, Mapping suitability for rice production in inland valley landscapes in Benin and Togo using environmental niche modeling. *Science of the Total Environment*, 709: 136165. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136165>
- Alison, M. and Lobsinger,** 2001, The human dimensions of environmental change: livelihoods and land use in upland south Sulawesi, Indonesia. [microform] University of Waterloo UMD Lib.
- Aqeel, M., Jamil, M. and Yusoff, I.,** 2011, Introduction to Remote Sensing of Biomass. In *Biomass and Remote Sensing of Biomass*. InTech. <https://doi.org/10.5772/16462>
- Arafat, S.M., Aboelghar, M.A. and Ahmed, E.F.,** 2013, Crop Discrimination Using Field Hyper Hyper Spectral Remotely Sensed Data.
- Araujo, M., Pearson, R., Thuiller, W. and Erhard, M.,** 2005, Validation of species-climate impact models under climate change. *Glob. Chang. Biol.*, 11: 1504–1513.
- Ayehu, G. T. and Besufekad, S. A.,** 2015, Land Suitability Analysis for Rice Production: A GIS Based Multi-Criteria Decision Approach. *American Journal of Geographic Information System*, 2015(3): 95–104. <https://doi.org/10.5923/j.ajgis.20150403.02>
- Baghdadi, N., Bernier, M., Gauthier, R. and Neeson, I.,** 2001, Evaluation of C-band SAR data for wetlands mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 22(1): 71-88.
- Banai, R.,** 1993, Fuzziness in Geographical Information Systems: contributions from the analytic hierarchy process. *International Journal of Geographical Information Systems* 7 (4):315–329. <https://doi.org/10.1080/02693799308901964>.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Barzilai, J.**, 1998, On the decomposition of value functions 1. *Operations Research Letters*. 22:159–170.
- Bazzi, H., Baghdadi, N., El Hajj, M., Zribi, M., Minh, D. H. T., Ndikumana, E., Courault, D., and Belhouchette, H.**, 2019, Mapping paddy rice using Sentinel-1 SAR time series in Camargue, France. *Remote Sensing*, <https://doi.org/10.3390/RS11070887>
- Bergstra, J., and Bengio, Y.**, 2012, Random search for hyper-parameter optimization. *Journal of Machine Learning Research*, 13: 281– 305.
- Blickensdörfer, L., Schwieder, M., Pflugmacher, D., Nendel, C., Erasmi, S., and Hostert, P.**, 2022, Mapping of crop types and crop sequences with combined time series of Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat 8 data for Germany. *Remote Sensing of Environment*, 269, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112831>
- Bonfante, A., Langella, G., Mercogliano, P., Bucchignani, E., Manna, P., Terribile, F.**, 2018, Science of the Total Environment A dynamic viticultural zoning to explore the resilience of terroir concept under climate change. *Science of the Total Environment* 624: 294–308. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.035>
- Borromeo, T.**, 2003, Biodiversity and the quest for sustainable rice production systems. *Crop Science*, 26:15–20.
- Boshuwenda, A. C., Cotter, M., Kalisa, A., Rojaona, A., Senthilkumar, K., Stuerz, S., Vincent, I., and Asch, F.**, 2020, Altitude, temperature, and N Management effects on yield and yield components of contrasting lowland rice cultivars. *J Agro Crop Sci*, 206:456–465.
- Bouman, B. A. M., Humphreys, E., Tuong, T. P., and Barker, R.**, 2007, Rice and Water. *Advances in Agronomy*, 92:187–237. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(04\)92004-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(04)92004-4)

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Bouvet, A., Le Toan, T., Lam-Dao, N.,** 2009, Monitoring of the Rice Cropping System in the Mekong Delta Using ENVISAT/ASAR Dual Polarization Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 47 (2):517-26. <https://doi:10.1109/TGRS.2008.2007963>.
- Brisco, B., Kapfer, M., Hirose, T., Tedford, B., and Liu, J.,** 2011, Evaluation of C-band polarization diversity and polarimetry for wetland mapping. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 37(1):82–92. <https://doi.org/10.5589/m11-017>
- Buckley, J. J.;** 1985, Fuzzy hierarchical analysis. *In Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 17.
- Cai, Y., Lin, H., and Zhang, M.,** 2019, Mapping paddy rice by the object-based random forest method using time series Sentinel-1/Sentinel-2 data. *Advances in Space Research*, 64(11): 2233–2244. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.08.042>
- Castro-Llanos, F., Hyman, G., Rubiano, J., Ramirez-Villegas, J., Achicanoy, H.,** 2019, Climate change favors rice production at higher elevations in Colombia. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.* 24 (8): 1401 – 1430. <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09852-x>.
- Chang, K.W., Shen, Y., Lo, J.C.,** 2005, Predicting rice yield using canopy reflectance measured at booting stage. *Agron. J.* 97: 872–878.
- Chen, N., Yu, L., Zhang, X., Shen, Y., Zeng, L., Hu, Q., and Niyogi, D.,** 2020, Mapping paddy rice fields by combining multi-temporal vegetation index and synthetic aperture radar remote sensing data using Google Earth Engine machine learning platform. *Remote Sensing*, 12(18) <https://doi.org/10.3390/RS12182992>
- Clauss, K., Ottinger, M., and Kuenzer, C.,** 2018, Mapping rice areas with Sentinel-1 time series and superpixel segmentation. *International Journal of*

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Remote Sensing*, 39(5): 1399–1420.
<https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1404162>
- Danvi, A., Jütten, T., Giertz, S., Zwart, S. J., and Diekkrüger, B.**, 2016, A spatially explicit approach to assess the suitability for rice cultivation in an inland valley in central Benin. *Agricultural Water Management*, 177: 95–106.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.07.003>
- Das N., Mondal P., Sutradhar S., Ghosh R.**, 2021, Assessment of variation of land use/land cover and its impact on land surface temperature of Asansol subdivision. *Egyptian J. Rem. Sens. Space Sci.* 24(1):131–149.
- Demont, M.**, 2013. Reversing urban bias in African rice markets: A review of 19 National Rice Development Strategies. *Global Food Security*, 2(3): 172–181.
<https://doi.org/10.1016/J.GFS.2013.07.001>
- Deng, F., Li, X., Wang, H., Zhang, M., Li, R., Li, X.**, 2014, GIS-based assessment of land suitability for alfalfa cultivation: A case study in the dry continental steppes of northern China. *Spanish Journal of Agricultural Research* 12 (2): 364–375. <https://doi.org/10.5424/sjar/2014122-4672>
- Devkota, N., and Paija, N.**, 2020, Impact of Climate Change on Paddy Production: Evidence from Nepal. *Asian Journal of Agriculture and Development*, 17(2): 63–78. <https://doi.org/10.37801/ajad2020.17.2.4>
- Dijkman, J.G; Haeringen, H van; and Lange, S.J.**, 1983, "Fuzzy numbers". *Journal of Mathematical Analysis and Applications*. 92 (2): 301–341.
[doi:10.1016/0022-247x\(83\)90253-6](https://doi.org/10.1016/0022-247x(83)90253-6).
- Dineshkumar, C., Kumar, J. S., and Nitheshnirmal, S.**, 2019, Rice Monitoring Using Sentinel-1 Data in the Google Earth Engine Platform. *Proceedings*, 24(1): 4. <https://doi.org/10.3390/iecg2019-06206>
- Dirgahayu, D., Parsa, I. M., and Harini, S.**, 2019, Detection Paddy Field using dual Polarization SAR Sentinel-1 Data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 280(1), <https://doi.org/10.1088/1755-1315/280/1/012022>

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Dong, J., and Xiao, X.**, 2016, Evolution of regional to global paddy rice mapping methods: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 119: 214–227. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.05.010>
- Dossou-Yovo, E. R., Devkota, K. P., Akpoti, K., Danvi, A., Duku, C., and Zwart, S. J.**, 2022, Thirty years of water management research for rice in sub-Saharan Africa: Achievement and perspectives. *Field Crops Research*, 283(12):108548. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108548>
- Dossou-Yovo, E. R., Vandamme, E., Dieng, I., Johnson, J. M., and Saito, K.**, 2020, Decomposing rice yield gaps into efficiency, resource and technology yield gaps in sub-Saharan Africa. *Field Crops Research*, 258: 107963. <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2020.107963>
- DSID**, 2019, National Directorate of Agricultural Statistics, Information and Documentation, [Unpublished raw data], Ministry of Agriculture, Livestock and Rural Development of Togo.
- Elert, E.**, 2014, Rice by the numbers: A good grain. *Nature* 514: 50.
- Elith, J., Phillips S. J., Hastie T., Dudík M., Chee Y. E., and Yates C.J.**, 2011, A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1): 43-57.
- ESA**, 2016. (<http://2016africalandcover20m.esrin.esa.int/> Erişim tarihi: 20 Nisan 2021)
- Fang, H., Wu, B., Liu, H., and Huang, X.**, 1998, Using NOAA AVHRR and Landsat TM to estimate rice area year-by-year. *International Journal of Remote Sensing*, 19(3):521–525. <https://doi.org/10.1080/014311698216134>
- FAO**, 1976, A framework for land evaluation. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Soils Bulletin No.32, FAO: Rome
- FAO**, 2007, Land evaluation: Towards a revised framework. Electronic Publishing Policy and Support Branch, pp. 124.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Fiorillo, E., Di Giuseppe, E., Fontanelli, G., and Maselli, F.,** 2020, Lowland rice mapping in Sédhiou region (Senegal) using sentinel 1 and sentinel 2 data and random forest. *Remote Sensing*, 12(20): 1–23. <https://doi.org/10.3390/rs12203403>
- Fischer, G., and Sun, L.,** 2001, Model based analysis of future land-use development in China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85(1–3):163–176. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00182-7](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00182-7)
- Flores-Anderson, A.I., Herndon, K.E., Cherrington, E., Thapa, R., Kucera, L., Guyen, N.H., Odour, P., Wahome, A., Tenneson, K., Manane, B.,** 2019, SAR Handbook: Comprehensive Methodologies for Forest Monitoring and Biomass Estimation.
- Gamon, J. A., Penfuelas, J., Field, C. B.,** 1992, A narrow-wave band spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. *Remote Sensing Environ* 41: 35-44
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., and Moore, R.,** 2017, 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>
- Gruber, S., Peckham, S.,** 2009, Land-surface parameters and objects in hydrology. In: *Geomorphometry - Concepts, Software, Applications*. Elsevier, pp. 171–194.
- Guan, X., Huang, C., Liu, G., Meng, X., and Liu, Q.,** 2016, Mapping rice cropping systems in Vietnam using an NDVI-based time-series similarity measurement based on DTW distance. *Remote Sensing*, 8(1, <https://doi.org/10.3390/rs8010019>

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Guo, L., Liu, M., Zhang, Y., Tao, Y., Zhang, F., Li, G., Dittert, K., and Lin, S.,** 2018, Yield differences get large with ascendant altitude between traditional paddy and water-saving ground cover rice production system. *European Journal of Agronomy*, 92: 9–16. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2017.09.005>
- Haldar, D., and Patnaik, C.,** 2010, Synergistic use of multi-temporal Radarsat SAR and AWiFS data for Rabi rice identification. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 38(1): 153–160. <https://doi.org/10.1007/s12524-010-0006-x>
- Heumann, B. W., Walsh, S. J., and McDaniel, P. M.,** 2011, Assessing the application of a geographic presence-only model for land suitability mapping. *Ecological Informatics*, 6(5): 257–269. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2011.04.004>
- Hird, J.N.; DeLancey, E.R.; McDermid, G.J.; Kariyeva, J.,** 2017, Google earth engine, open-access satellite data, and machine learning insupport of large-area probabilistic wetland mapping. *Remote Sens.* 9: 1315.
- Hoang, H. K., Bernier, M., Duchesne, S., and Tran, Y. M.,** 2016, Rice Mapping Using RADARSAT-2 Dual- and Quad-Pol Data in a Complex Land-Use Watershed: Cau River Basin (Vietnam, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(7): 3082–3095. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2016.2586102>
- Hopkins, L. D.,** 2007, Methods for Generating Land Suitability Maps: A Comparative Evaluation Methods for Generating Land Suitability Maps : A Comparative Evaluation. pp. 37–41.
- Horler D.N.H, Dockray M., Barber J.,** 1983, The red edge of plant leaf reflectance, *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 4, N. 2: 273-288
- Hsieh, T. Y., Lu, S. T., and Tzeng, G. H.,** 2004, Fuzzy MCDM approach for planning and design tenders selection in public office buildings. *International Journal of Project Management*, 22(7): 573–584. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2004.01.002>

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Huete, A.R.**, 1988, A Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI, Remote Sensing of Environment, 25: 295-309.
- Hunt, E.R and Rock, B.N.**, 1989, Detection of Changes in Leaf water Content Using near and Middle-Infrared Reflectances. Remote Sensing of Environment 30: 43-54.
- Inoue, Y., Kurosu, T., Maeno, H., Uratsuka, S., Kozi, T., Dabrowska-Zielinska, K., Qi, J.**, 2002, Season-long daily measurements of multifrequency (Ka, Ku, X, C, and L) and full-polarization backscatter signatures over paddy rice field and their relationship with biological variables. Remote Sens. Environ. 81: 194–204.
- Inoue, Y., Sakaiya, E., Wang C.**, 2014, Capability of C-Band Backscattering Coefficients from High-Resolution Satellite SAR Sensors to Assess Biophysical Variables in Paddy Rice. Remote Sensing of Environment. 140: 257–266. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.09.001>.
- IPCC**, 2014, Climate change 2014 synthesis report summary chapter for policymakers. In: Climate Change 2014: Synthesis Report. Summary for Policymakers.
- Jordan, C.F.**, 1969, Derivation of Leaf Area Index from Quality of Light on the Forest Floor. Ecology, 50: 663-666. <http://dx.doi.org/10.2307/1936256>
- Khati, R.**, 2018, Deep Learning in Biometrics. Deep Learning in Biometrics, 32–38. <https://doi.org/10.1201/b22524>
- Kihoro, J., Bosco, N.J., Murage, H.**, 2013, Suitability analysis for rice growing sites using a multicriteria evaluation and GIS approach in great Mwea region. Kenya. SpringerPlus 1–9.
- Kim, H.O., Yeom, J.M.**, 2012, Multi-temporal spectral analysis of rice fields in South Korea using MODIS and RapidEye satellite imagery. J. Astron. Space Sci. 29: 407– 411.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kim, H.O., Yeom, J.M.,** 2014, Effect of red-edge and texture features for object-based paddy rice crop classification using RapidEye multi-spectral satellite image data. *Int. J. Remote Sens.* 35: 7046–7068.
- Konan-Waidhet A.B., Dibi1 B., Kouadio Z.A., Savane I.,** 2015, Modelling of suitable areas for rain fed rice grow- ing using multi criteria approach in geographic infor- mation system: Case of Denguele (Northwest of Côte d’Ivoire, *British Journal of Applied Science and Technol- ogy*, 6: 95–104.
- Kumar, P., Sairam, M., Shankar, T., and Maitra, S.,** 2021, Application of Remote Sensing in Agriculture. *Indian Journal of Natural Sciences*, 12(69)0976–0997. <https://www.researchgate.net/publication/357570357>
- Kurosu, T., Fujita, M., and Chiba, K.,** 1997): The identification of rice fields using multi-temporal ers-1 c band sar data. *International Journal of Remote Sensing*, 18(14): 2953–2965. <https://doi.org/10.1080/014311697217143>
- Kurucu Y., Esetlili, T., Şanlı F., Şanlı U., Kurucu, Y. (ed.),** 2017, Tarımda Uzaktan Algılama Tekniği, Demfo Basımevi, İzmir. 153s.
- Laarhoven, P. J. M., Pedrycz, W.,** 1983, A fuzzy extension of Saaty’s priority theory. *Fuzzy Sets Syst* , 11(3):229–41.
- Lasko, K., Vadrevu, K. P., Tran, V. T., and Justice, C.,** 2018, Mapping Double and Single Crop Paddy Rice with Sentinel-1A at Varying Spatial Scales and Polarizations in Hanoi, Vietnam. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 11(2): 498–512. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2017.2784784>
- Lee, J. S., Grunes, M. R., and Pottier, E.,** 2001, Quantitative comparison of classification capability: Fully polarimetric versus dual and single-polarization SAR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(11): 2343-2351.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Lee, J.S.**, 1980, Digital image enhancement and noise filtering by use of local statistics. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 2, 165–168.
- Lee, J.S. and Pottier, E.**, 2009, *Polarimetric Radar Radar Imaging*. CRC Press, New York.
- Lewis, A., Lacey, J., Mecklenburg, S., Ross, J., Siqueira, A., Killough, B., Szantoi, Z., Tadono, T., Rosenavist, A., Goryl, P.**, 2018, CEOS analysis ready data for Land (CARD4L) overview. In *Proceedings of the IGARSS 2018–2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Valencia, Spain, 22–27, pp. 7407–7410.
- Li, H., Huang, C., Fu, D., Su, F., Liu, Q., and Liu, G.**, 2020, Supplementary materials for An approach to high-resolution rice paddy mapping using time-series Sentinel-1 SAR data in the Mun River basin, Thailand. 1: 10–13. <https://doi.org/10.3390/rs12233959>
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., and Chipman, J. W.**, 2015, Remote sensing and image interpretation. in R. Petra, F. Ryan, P. Marian, and H. Kathryn (Eds.): *Remote Sensing and Image Interpretation* (Seventh Edition, Wiley)
- Liu, C., Chen, Z., Shao, Y., Chen, J. Song, Hasi, T., and Pan, H. Zhu.**, 2019, Research advances of SAR remote sensing for agriculture applications: A review. In *Journal of Integrative Agriculture*. 18(3): 506–525, Chinese Academy of Agricultural Sciences. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62016-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62016-7)
- Liu, L., Xiao, X., Qin, Y., Wang, J., Xu, X., Hu, Y., and Qiao, Z.**, 2020, Mapping cropping intensity in China using time series Landsat and Sentinel-2 images and Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 239 (December 2019): 111624. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111624>
- Lopez-Sanchez, J., and Ballester-Berman, J. D.**, 2009, Potentials of polarimetric SAR interferometry for agriculture monitoring. *Radio Science - RADIO SCI.* 44. 10.1029/2008RS004078.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Maddahi, Z., Jalalian, A., Zarkesh, M. M. K., and Honarjo, N.,** 2017, Land suitability analysis for rice cultivation using a GIS-based fuzzy multi-criteria decision-making approach: Central part of amol district, Iran. *Soil and Water Research*, 12(1): 29–38. <https://doi.org/10.17221/1/2016-SWR>
- Malczewski, J.,** 2004, GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in Planning* 62: 3–65.
- Malczewski, J.J.,** 2006, GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science* 20 (7): 703–726. <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>.
- Mandal, D., Kumar, V., Ratha, D., Dey, S., Bhattacharya, A., Lopez-Sanchez, J. M., McNairn, H., and Rao, Y. S.,** 2020, Dual polarimetric radar vegetation index for crop growth monitoring using sentinel-1 SAR data. *Remote Sensing of Environment*, 247 (January): 111954. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111954>
- Mansaray, L. R., Huang, W., Zhang, D., Huang, J., and Li, J.,** 2017, Mapping rice fields in urban Shanghai, southeast China, using Sentinel-1A and Landsat 8 datasets. *Remote Sensing*, 9(3), <https://doi.org/10.3390/rs9030257>
- MAPAH,** 2020, Stratégie Nationale de Développement de la Riziculture 2019-2030.
- Masoud, J., Forkuor, G., Namara, R., Ofori, E.,** 2013, Modeling inland valley suitability for rice cultivation. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences* 8 (1): 9–19.
- McCloy, K. R., Smith, F. R., and Robinson, M. R.,** 1987, Monitoring rice areas using LANDSAT MSS data. *International Journal of Remote Sensing*, 8(5): 741–749. <https://doi.org/10.1080/01431168708948685>
- McNairn, H. and Brisco, B.,** 2004, The application of C-band polarimetric SAR for agriculture: a review, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 30 (3):525-542.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Mendoza, G.A.**, 2000, A Gis-based multicriteria approaches to land use suitability as- sessment and allocation. In: United States Department of Agriculture Forest Service General Technical Report NC, pp. 89–947.
- Mitra, A., and Zaman, S.**, 2015, Blue carbon reservoir of the blue planet. In *Blue Carbon Reservoir of the Blue Planet*. Springer India.
- Mosleh, M. K., Hassan, Q. K., and Chowdhury, E. H.**, 2015, Application of remote sensors in mapping rice area and forecasting its production: A review. *Sensors (Switzerland)*: 15(1): 769–791.
- Mountrakis, G.; Im, J.; Ogole, C.**, 2011, Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS J. Photogramm Remote Sens.* 66: 247 – 259. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.11.001>.
- Mullissa, A., Vollrath, A., Odongo-Braun, C., Slagter, B., Balling, J., Gou, Y., Gorelick, N., and Reiche, J.**, 2021, Sentinel-1 sar backscatter analysis ready data preparation in google earth engine. *Remote Sensing*, 13(10): 5–11. <https://doi.org/10.3390/rs13101954>
- Murphy, H.**, 1996, The Finley Affair: A Signal Event in the History of Forecast Verification. *Weather and Forecasting*. 11 (1): 3. ISSN 1520-0434.
- NASA JPL**, 2020, NASADEM Merged DEM Global 1 arc second V001 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Accessed 2020-12-30 from
- NASA**, 2021. <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/what-is-sar> (Erişim tarihi: 20 Mart 2021)
- Navarro-Racines, C., Tarapues, J., Thornton, P., Jarvis, A., Ramirez-Villegas, J.**, 2020, High-resolution and bias-corrected CMIP5 projections for climate change impact assessments. *Sci. Data* 7 (1): 7. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0343-8>.
- Nguyen, D. B., and Wagner, W.**, 2017, European rice cropland mapping with Sentinel-1 data: The mediterranean region case study. *Water (Switzerland)*: 9:6, <https://doi.org/10.3390/w9060392>

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Nguyen, D. B., Gruber, A., Wagner, W., Nguyen, D. B., and Gruber, A.,** 2016, Mapping rice extent and cropping scheme in the Mekong Delta using Sentinel-1A data Mapping rice extent and cropping scheme in the Mekong. 7058.
- Nguyen, T. T. H., de Bie, C. A. J. M., Ali, A., Smaling, E. M. A., and Chu, T. H.,** 2012, Mapping the irrigated rice cropping patterns of the Mekong delta, Vietnam, through hyper-temporal spot NDVI image analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 33(2): 415–434. <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.532826>
- Nijbroek, R.P., Andelman, S.J.,** 2015, Regional suitability for agricultural intensification: a spatial analysis of the Southern Agricultural Growth Corridor of Tanzania. *International Journal of Agricultural Sustainability*. 5903: 1–17. <https://doi.org/10.1080/14735903.2015.1071548>.
- Nurtyawan, R., Saepuloh, A., Harto, A. B., Wikantika, K., and Kondoh, A.,** 2018, Satellite imagery for classification of rice growth phase using freeman decomposition in Indramayu, West Java, Indonesia. *HAYATI Journal of Biosciences*, 25(3): 126–137. <https://doi.org/10.4308/hjb.25.3.126>
- OECD/FAO,** 2009, OECD-FAO Agricultural Outlook 2009-2018. www.agri-outlook.org
- Okamoto, K., and Kawashima, H.,** 1999, Estimation of rice-planted area in the tropical zone using a combination of optical and microwave satellite sensor data. *International Journal of Remote Sensing*, 20(5): 1045–1048. <https://doi.org/10.1080/014311699213091>
- Onojeghuo, A. O., Blackburn, G. A., Wang, Q., Atkinson, P. M., Kindred, D., and Miao, Y.,** 2018, Mapping paddy rice fields by applying machine learning algorithms to multi-temporal sentinel-1A and landsat data. *International Journal of Remote Sensing*, 39(4): 1042–1067.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ozdogan, M.; Gutman, G.,** 2008, A new methodology to map irrigated areas using multi-temporal MODIS and ancillary data: An application example in the continental US. *Remote Sens. Environ.* 112: 3520–3537.
- Pal, M.,** 2005, Random forest classifier for remote sensing classification. *International Journal of Remote Sensing* 26: 217–222.
- Pan, X. Z., Uchida, S., Liang, Y., Hirano, A., and Sun, B.,** 2010, Discriminating different land use types by using multitemporal NDXI in a rice planting area. *International Journal of Remote Sensing*, 31(3): 585–596. <https://doi.org/10.1080/01431160902894442>
- Park, S., Im, J., Park, S., Yoo, C., Han, H., and Rhee, J.,** 2018, Classification and mapping of paddy rice by combining Landsat and SAR time series data. *Remote Sensing*, 10(3): 1–22. <https://doi.org/10.3390/rs10030447>
- Periasamy, S.,** 2018, Significance of dual polarimetric synthetic aperture radar in biomass retrieval: An attempt on Sentinel-1. *Remote Sensing of Environment*, 217: 537–549. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2018.09.003>
- Prakash, T.N.,** 2003. Land Suitability Analysis for Agricultural Crops: A Fuzzy Multicriteria Decision Making Approach. pp. 1–68.
- Quegan, S.; Yu, J.J.,** 2001, Filtering of multichannel SAR images. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 39: 2373–2379.
- Ramadhani, F., Pullanagari, R., Kereszturi, G., and Procter, J.,** 2021, Mapping a cloud-free rice growth stages using the integration of proba-v and sentinel-1 and its temporal correlation with sub-district statistics. *Remote Sensing*, 13: 8, <https://doi.org/10.3390/rs13081498>

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Roberts, D., Ustin, S., Ogunjemiyo, S., Greenberg, J., Dobrowski, S., Chen, J., and Hinckley, T.,** 2004, Spectral and Structural Measures of Northwest Forest Vegetation at Leaf to Landscape Scales. *Ecosystems*. 7: 545-562. <https://doi.org/10.1007/s10021-004-0144-5>.
- Rodcha, R., Tripathi, N. K., and Shrestha, R. P.,** 2019, Comparison of cash crop suitability assessment using parametric, AHP, and FAHP methods. *Land*, 8(5), <https://doi.org/10.3390/land8050079>
- Rodenburg, J., Zwart, S.J., Kiepe, P., Narteh, L.T., Dogbe, W., Wopereis, M.C.S.,** 2014, Sustainable rice production in African inland valleys: Seizing regional potentials through local approaches. *Agricultural Systems* 123: 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.09.004>
- Romano, G., Sasso, P.D., Liuzzi, G.T., Gentile, F.,** 2015, Multi-criteria decision analysis for land suitability mapping in a rural area of Southern Italy. *Land Use Policy* 48: 131–143. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.013>
- Rukhsana, and Molla, S. H.,** 2022, Investigating the Suitability for Rice Cultivation Using Multi-Criteria Land Evaluation in the Sundarban Region of South 24 Parganas District, West Bengal, India. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 50(2): 359–372. <https://doi.org/10.1007/s12524-021-01441-3>
- Saaty, T. L.,** 1980, *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T. L., Vargas, L.G.,** 2001, Models, methods, concepts and applications of the analytic hierarchy process. Springer Science and Business Media. 175, 350. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1665-1>.
- Sadiq, M., Khan, S., and Mohammad, C. W.,** 2018, Software Requirements Selection Using Consistent Pairwise Comparison Matrices of AHP. *International Journal of Computer Sciences and Engineering Open Access Research Paper*, 6. www.ijcseonline.org

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Saito, K., Nelson, A., Zwart, S.J., Niang, A., Sow, A., Yoshida, H., Wopereis, M.C.S.,** 2013, Towards a better understanding of biophysical determinants of yield gaps and the potential for expansion of rice-growing area in Africa. In: Wopereis, M.C.S., Johnson, D.E., Ahmadi, N., Tollens, E., Jalloh, A.(Eds.): Realizing Africa's Rice Promise. CAB International. CABI, Wallingford, UK, pp. 188–203.
- Sarkar, B., Das, P., Islam, N., Basak, A., Debnath, M., and Roy, R,** 2021, Land suitability analysis for paddy crop using GIS-based Fuzzy-AHP (F-AHP) method in Koch Bihar district, West Bengal. *Geocarto International*. <https://doi.org/10.1080/10106049.2021.2007299>
- Schmitt, A. and Brisco, B.,** 2013, Wetland Monitoring Using the Curvelet-Based Change Detection Method on Polarimetric SAR Imagery. *Water*. 5: 1036-1051. 10.3390/w5031036.
- Schulz, D., Yin, H., Tischbein, B., Verleysdonk, S., Adamou, R., and Kumar, N.,** 2021, Land use mapping using Sentinel-1 and Sentinel-2 time series in a heterogeneous landscape in Niger, Sahel. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 178 (March): 97–111.
- Sellers, P. J.,** 1985, Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. *International Journal of Remote Sensing*, 6(8): 1335–1372.
- Shao, Y., Fan, X., Liu, H., Xiao, J., Ross, S., Brisco, B., Brown, R., and Staples, G.,** 2001, Rice monitoring and production estimation using multitemporal RADARSAT. *Remote Sensing of Environment*, 76(3): 310–325. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00212-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00212-1)
- Shao, Y., Lunetta, R. S.,** 2012, Comparison of support vector machine, neural network, and CART algorithms for the, land-cover classification using limited training data points. *ISPRS J. Photogram. Remote Sens.* 70: 78–87.
- Shi, J. J., Huang, J. F., and Zhang, F.,** 2013, Multi-year monitoring of paddy rice planting area in Northeast China using MODIS time series data. *Journal of Zhejiang University: Science B*, 14(10): 934–946.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Shihua, L., Jiangtao, X., Ping, N., Jing, Z., and Hongshu, W.,** 2014, Monitoring paddy rice phenology using time series modis data over Jiangxi province, China. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 7(6): 28–36. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20140706.005>
- Shiu, Y.-S., Lin, M.-L., Huang, C.-H., Chu, T.-H.,** 2012. Mapping paddy rice agriculture in a highly fragmented area using a geographic information system object- based post classification process. *J. Appl. Remote Sens.* 6, 063526
- Singha, M., Dong, J., Zhang, G., Xiao, X.,** 2019, High resolution paddy rice maps in cloud-prone Bangladesh and Northeast India using Sentinel-1 data. *Scientific Data*, 6(1): 1–10.
- Soh, N. C., Shah, R. M., Goh, S., and Giap, E.,** 2022, High-Resolution Mapping of Paddy Rice Extent and Growth Stages across Peninsular Malaysia Using a Fusion of Sentinel-1 and 2 Time Series Data in Google Earth Engine. *Remote Sens.*, 14: 1–22. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs14081875>
- Son, N. T., Chen, C. F., Chen, C. R., Chang, L. Y., Duc, H. N., and Nguyen, L. D.,** 2013, Prediction of rice crop yield using MODIS EVI-LAI data in the Mekong Delta, Vietnam. *International Journal of Remote Sensing*, 34(20): 7275–7292. <https://doi.org/10.1080/01431161.2013.818258>
- Song, S.L., Gong, W., Zhu, B., Huang, X.,** 2011, Wavelength selection and spectral discrimination for paddy rice, with laboratory measurements of hyperspectral leaf reflectance. *Isprs J. Photogramm.* 66, 672–682.
- Storie, R.E.,** 1978, Storie index soil rating. Division of Agricultural Sciences University of California, pp. 3203.
- Suga, Y., Konishi, T.,** 2008, Rice Crop Monitoring using X, C and L Band SAR Data, pp. 710410.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sys I, Van-Ranst E, Debveye J.**, 1991, Land evaluation. Part 1: principles in land evaluation and crop production calculations. General Administration for Development Cooperation, Brussels, Belgium, Agricultural Publications No. 7.
- Taghizadeh-Mehrjardi, R., Nabiollahi, K., Rasoli, L., Kerry, R., and Scholten, T.**, 2020, Land suitability assessment and agricultural production sustainability using machine learning models. *Agronomy*, 10:4, <https://doi.org/10.3390/agronomy10040573>
- Talema, T., and Hailu, B. T.**, 2020, Mapping rice crop using sentinels (1 SAR and 2 MSI) images in tropical area: A case study in Fogera wereda, Ethiopia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18(November 2019), <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100290>
- Tang, H., Van Ranst, E.**, 1992, Testing of fuzzy set theory in land suitability assessment for rainfed grain maize production. *Pedologie XLII* (2): 129–147. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Tashayo, B., Honarbakhsh, A., Azma, A., and Akbari, M.**, 2020, Combined Fuzzy AHP–GIS for Agricultural Land Suitability Modeling for a Watershed in Southern Iran. *Environmental Management*, 66(3): 364–376. <https://doi.org/10.1007/s00267-020-01310-8>
- Taylor, P., Rao, P. P. N., and Rao, V. R.**, 1987, Rice crop identification and area estimation using remotely-sensed data from Indian cropping patterns. *International Journal of Remote Sensing*, 8(4): 639–650. <https://doi.org/10.1080/01431168708948670>
- Teluguntla, P., Ryu, D., George, B., Walker, J. P., and Malano, H. M.**, 2015, Mapping flooded rice paddies using time series of MODIS imagery in the Krishna River Basin, India. *Remote Sensing*, 7(7): 8858–8882. <https://doi.org/10.3390/rs70708858>

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Tennakoon, S. B., Murty, V. V., and Eiumnoh, A.**, 1992, Estimation of cropped area and grain yield of rice using remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 13(3): 427–439. <https://doi.org/10.1080/01431169208904047>
- Thenkabail, P. S., Smith, R. B., Pauw, E. D.**, 2000, Hyperspectral Vegetation Indices and Their Relationships with Agricultural Crop Characteristics, *Remote Sensing of Environment*, 71 (2): 158-182, ISSN 0034-4257, [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(99\)00067-X](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(99)00067-X).
- Thenkabail, P., Lyon, J., and Huete, A.**, 2019, Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation-Hyperspectral Indices and Image Classifications for Agriculture and Vegetation (Fourth), Taylor and Francis.
- Thenkabail, P.S., Gumma, M.K., Teluguntla, P. and Mohammed, I. A.**, 2014, Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation and Agricultural Crops. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 80: 697-709.
- TNRDS**, 2010, Togo National Rice Development Strategy (NRDS): October: 48. Retrieved from www.riceforafrica.net/downloads/NRDS/Togo_En.pdf (Accessed 2nd June 2020).
- Torbick, N., and Salas, W.**, 2014, Mapping agricultural wetlands in the Sacramento Valley, USA with satellite remote sensing. *Wetlands Ecology and Management*, 23(1): 79–94. <https://doi.org/10.1007/s11273-014-9342-x>
- Torbick, N., Salas, W., Xiao, X., Ingraham, P., Fearon, M. G., Biradar, C., Zhao, D., Liu, Y., Li, P., and Zhao, Y.**, 2011, Integrating SAR and optical imagery for regional mapping of paddy rice attributes in the Poyang Lake Watershed, China. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 37(1): 17–26. <https://doi.org/10.5589/m11-020>

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Trudel, M., Charbonneau, F., Leconte, R.,** 2012, Using RADARSAT-2 polarimetric and ENVISAT-ASAR dual-polarization data for estimating soil moisture over agricultural fields. *Can. J. Remote. Sens.* 38 (4): 514–527.
- Tucker, C.J.,** 1979, Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8, 127-150. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- Veci, L.,** 2014, The Sentinel-1 Toolbox. In *Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS*, 1–3.
- Veloso, A., Mermoz, S., Bouvet, A., le Toan, T., Planells, M., Dejoux, J. F., and Ceschia, E.,** 2017, Understanding the temporal behavior of crops using Sentinel-1 and Sentinel-2-like data for agricultural applications. *Remote Sensing of Environment*, 199: 415–426. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2017.07.015>
- Vignali, S., Barras, A.G., Arlettaz, R., Braunisch, V.,** 2020, SDMtune: An R package to tune and evaluate species distribution models. *Ecol. Evol*, 10, 11488–11506.
- Waleed, M., Mubeen, M., Ahmad, A., Habib-ur-Rahman, M., Amin, A., Farid, H. U., Hussain, S., Ali, M., Qaisrani, S. A., Nasim, W., Javeed, H. M. R., Masood, N., Aziz, T., Mansour, F., and el Sabagh, A.,** 2022, Evaluating the efficiency of coarser to finer resolution multispectral satellites in mapping paddy rice fields using GEE implementation. *Scientific Reports*, 12: 1, <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17454-y>
- Wang, F.,** 1994, The use of artificial neural networks in a geographical information system for agricultural land-suitability assessment. *Environment and Planning*, 265–284. <https://doi.org/10.1068/a260265>.
- Wang, F., Brent, H., Subaryono, G.,** 1990, Fuzzy information representation and processing in conventional GISsoftware :database design and application. *International Journal of Geographical Information Systems*, 4(3):261–283.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Wang, W., Yao, X., Tian, Y.C., Liu, X.J., Ni, J., Cao, W.X., Zhu, Y.,** 2012, Common spectral bands and optimum vegetation indices for monitoring leaf nitrogen accumulation in rice and wheat. *J. Integr. Agric.* 11: 2001–2012.
- Wildt, A. R., Lambert, Z. V., and Durand, R. M.,** 1982, Applying the Jackknife Statistic in Testing and Interpreting Canonical Weights, Loadings, and Cross-Loadings. *Journal of Marketing Research*, 19(1): 99–107.
<https://doi.org/10.2307/3151534>
- Wu, F., Wang, C., Zhang, H., Zhang, B., and Tang, Y.,** 2010, Rice crop monitoring in South China with RADARSAT-2 quad-polarization SAR data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 8(2): 196-200.
- Xu, L., Zhang, H., Wang, C., Wei, S., Zhang, B., Wu, F., and Tang, Y,** 2021, Paddy rice mapping in thailand using time-series sentinel-1 data and deep learning model. *Remote Sensing*, 13(19), <https://doi.org/10.3390/rs13193994>
- Yin, H., Brandão, A., Buchner, J., Helmers, D., Iuliano, B. G., Kimambo, N. E., Lewińska, K. E., Razenkova, E., Rizayeva, A., Rogova, N., Spawn, S. A., Xie, Y., and Radeloff, V. C.,** 2020, Monitoring cropland abandonment with Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*, 246.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111873>
- Zadeh, L. A.,** 1975, The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. *Inf Sci.*, 8(1):199–249.
- Zarco-Tejada, P. J., Miller, J. R., Mohammed, G. H., and Noland, T. L.,** 2000, Chlorophyll fluorescence effects on vegetation apparent re- sorghum. *Precis. Agric.* 3:373–388.
- Zhang, X., P., Zhang, K. Shen, and Pei, Z.,** 2016, Rice Identification at the Early Stage of the Rice Growth Season with Single Fine Quad Radarsat-2 Data. *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology*. 9998, 99981J.
[https://doi:10.1117/12.2240154.](https://doi:10.1117/12.2240154)

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Zhang, Y., Wang, C., Wu, J., Qi, J., and Salas, W. A.,** 2009, Mapping paddy rice with multitemporal ALOS/PALSAR imagery in southeast China. *International Journal of Remote Sensing*, 30(23): 6301–6315. <https://doi.org/10.1080/01431160902842391>
- Zhao, R., Li, Y., and Ma, M.,** 2021, Mapping paddy rice with satellite remote sensing: A review. *Sustainability (Switzerland)*: 13(2): 1–20. <https://doi.org/10.3390/su13020503>
- Zoccali, P., Malacrinò, A., Campolo, O., Laudani, F., Algeri, G.M., Giunti, G., ... Palmeri, V.,** 2017. A novel GIS-based approach to assess beekeeping suitability of Mediterranean lands. *Saudi Journal of Biological Sciences* 24 (5): 1045–1050. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.01.062>
- Zolekar, R.B., Bhagat, V. S.,** 2015, Multi-criteria land suitability analysis for agriculture in hilly zone: Remote sensing and GIS approach. *Computers and Electronics in Agriculture* 118: 300–321. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.09.016>
- Zwart, S., Holecz, F., Nelson, A., Mwambo, F., and Adefurin, O.,** 2014, Mapping rice in Africa. *Rice Today*, 1–1

TEŞEKKÜR

Tezimi hazırlama sürecinde yardımlarını, desteklerini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. M. Tolga ESETLİLİ'ye ve Prof. Dr. Yusuf KURUCU'ya, EÜ Toprak Bilimi Bölümü'nün tüm öğretim üyelerine, her zaman cesaretlendiren Doç. Dr. Bihter ÇOLAK ESETLİLİ'ye, çalışmalarım boyunca yardımcı olan Zir. Yük. Müh. Lelenda Florent KEBALO'ya, Burcu BOZTAŞ'a ve Houndonougbo Marius HOUNDONUGBO'ya, her zaman beni destekleyen aileme ve sevgili eşim N'gnounarè TEGOU'ya ve canım kızım Nourah Amombe KOUTANDO'ya çok teşekkür ederim. Ayrıca bana Doktora bursu sağlayan Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı'na (YTB) teşekkür ederim.

30/12/2022

Kpante KOUTANDO

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : KPANTE KOUTANDO

Eğitim Bilgileri

Doktora: 2018-2022: Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme, Uzaktan Algılama ve CBS Laboratuvarı

Yüksek Lisans 2015-2017: Lome Üniversitesi (Togo), Ziraat Fakültesi, Tarımsal Kaynak Bilimi ve Çevre Mühendisliği

Lisans 2010-2014: Lome Üniversitesi (Togo), Ziraat Fakültesi, Ziraat Mühendisliği

Mesleki Deneyim

Ocak 2021-Aralık 2022: CBS ve Çevre Uzmanı. Proje: *Togo'da sulu tarımın teşvik edilmesi için harekete geçirilmeleri amacıyla su kaynaklarının araştırılması ve incelenmesi (AB tarafından finanse edilmektedir)*. NIRAS A/S, Danemark

Mars 2022-Aralık 2022: Çevre danışmanı. Proje: *Havai hat 161 kV Momé Hagou - Nangbeto (Togo) sapması*. EDF/BESCAT (Energie de France).

Haziran 2021-Aralık 2021: Konuk araştırmacı. Proje: *Çeltik tarlalarındaki sera gazlarının modellenmesi*. Agroscope, İklim ve Tarım Grubu / Zürih (İsviçre).

Temmuz 2017-Ekim 2018: İklim projelerinde tarımsal-çevre danışman. Global Lead SA-CA.

Başarılar/Tanınırlık

- İklim, Gıda ve Tarım-Küresel Tarımsal Sera Gazları Araştırma İttifakı Geliştirme Burs Programı (CLIFF-GRADS)
- Uluslararası öğrenciler için doktora bursu (YTB)
- Lomé Üniversitesi-Bilimsel Araştırma ve İnovasyon Yönergesi (DRI) tarafından verilen takdir ödülü.
- CAMES (Afrika ve Malgaş Yükseköğretim Konseyi) Üniversite Olimpiyatı İkinci Uluslararası Ödülü. Yarışma alanı, Biyoçeşitlilik ve İklim Değişikliği / Çevre.
- CAMES Üniversite Olimpiyatı Birinci Ulusal Ödülü: Yarışma alanı, İklim Değişikliği / Çevre.
- Çevre ve sürdürülebilir kalkınma bilim yarışmasında ulusal üçüncülük ödülü.

Yabancı Dil: İngilizce, Fransızca ve Türkçe

Bilgisayar ve Yazılım Bilgileri: QGIS, ArcGIS, ENVI, SNAP, Global Mapper Google Earth Engine (JavaScript); R/Rstudio (R dili), DSSAT, Python dili, Microsoft ofis paketi