



Küresel İklim Değişikliği ve Çevresel Değişimlerin Etkisi Altında Arazi Değişim Biliminin Ortaya Çıkışı: Kurak ve Yarı Kurak Ekosistemlerde Arazi Değişimi

The emergence of land change science in the context of global climate change and environmental transformations: Land change in arid and semi-arid ecosystems

Mehmet Özdeş ^{*a}

Makale Bilgisi

Derleme

DOI:

10.33688/aucbd.1198890

Makale Geçmişi:

Geliş: 03.11.2022

Kabul: 23.06.2023

Anahtar Kelimeler:

Arazi değişim bilimi

Kurak yarı kurak bölgeler

Küresel iklim değişikliği,

Arazi kullanımı ve arazi

örtüsü değişimi

Makine öğrenmesi

Öz

Arazi kullanım faaliyetlerinin sürdürülebilir bir insan-çevre ekosistemine zarar verip vermediği sorusu bütünlük insan-çevre sistemleri hakkındaki en temel sorulardan biridir. Bu nedenle, beşerî ve çevre bilimciler, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri yöntemlerini kullanarak insan-çevre sistemlerinin ortak bir paydası olan mekânsal temelde entegrasyonunu araştırmaktadırlar. Bu kapsamda 1960'lardan itibaren, farklı türden mekânsal sorunları çözmek için çeşitli yöntemler ve araçlar geliştirilmektedir. Bunun sonucunda 'arazi değişim bilimi' kavramı, 21. yüzyılda arazi dinamiklerini çevresel değişimler ve küresel iklim değişikliği ile ilişkili olarak inceleyen disiplinlerarası bir bilim dalı olarak ortaya çıkmıştır. Öte yandan, Anadolu Yarımadası çoğunlukla kurak ve yarı kurak iklim özelliğine sahip olmasına ve arazi kullanım dinamiklerinden yoğun bir şekilde etkilenmesine rağmen, arazi değişim bilimi kavramının literatürde yer almadığı görülmüştür. Bu çalışmada, arazi değişim bilimi alanında yapılmış olan güncel araştırmaları inceleyerek sentezlemiş ve bu alandaki bir açığı kapatmaya yardımcı olmuştur.

Article Info

Review Article

DOI:

10.33688/aucbd.1198890

Article History:

Received: 03.11.2022

Accepted: 23.06.2023

Keywords:

Land change science

Arid and semi-arid regions

Land-use and land cover

change

Climate change

Machine learning

Abstract

Whether land use activities damage a sustainable human-environment ecosystem is one of the most fundamental questions about coupled human-environment systems. Therefore, humanities and naturalists are exploring the integration of human-environmental systems on a common denominator spatial basis using Remote Sensing and Geographic Information Systems. Since the 1960s, various methods and tools have been developed to address numerous spatial problems. Consequently, the term 'Land Change Science' was emerged as an interdisciplinary field in the 21st century, examining land dynamics in relation to environmental changes and global climate change. Although the Anatolian Peninsula mostly has a characteristic of arid and semi-arid climate and is heavily affected by land use dynamics, the term Land Change Science was found to be absent in the Turkish literature. This study contributes to the field by examining contemporary literature and filling a gap in the existing knowledge.

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: mozdes@nku.edu.tr

^a Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ/Türkiye, <https://orcid.org/0000-0003-3538-8861>

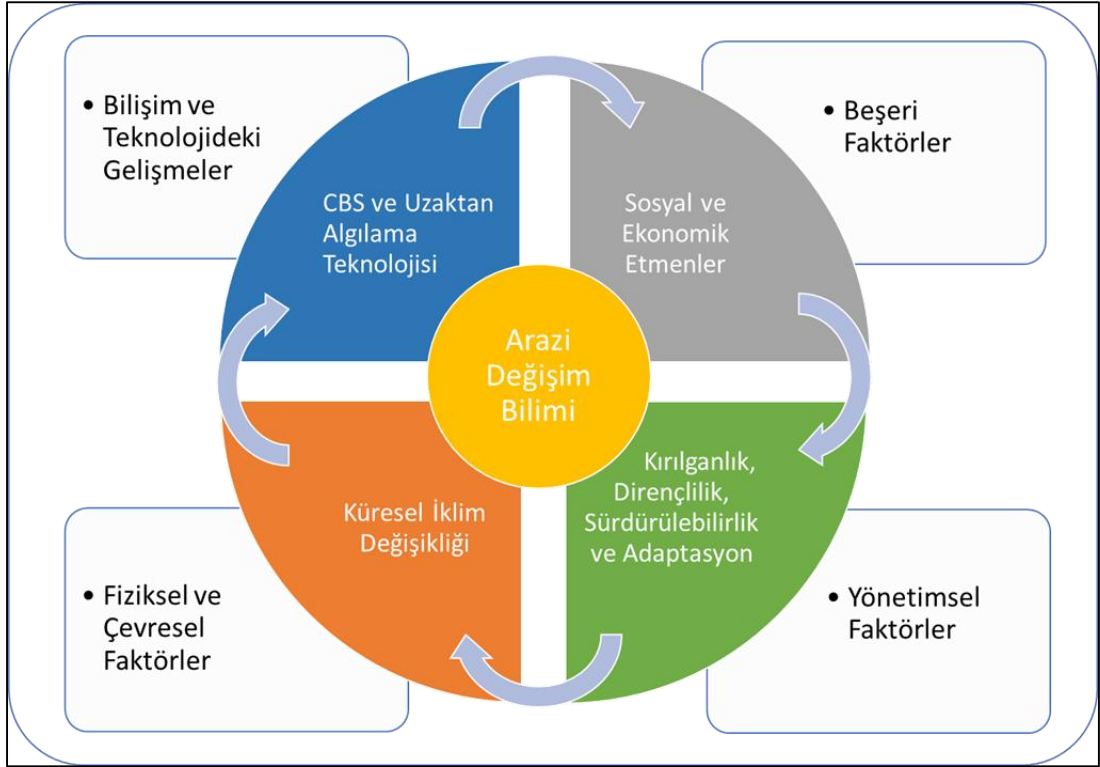
1. Giriş: Tanımlar, Kavramlar ve Kapsam

Küresel nüfus artışının bir sonucu olarak tüketim ihtiyaçlarının giderek artması hidrosferi, biyosferi ve atmosferi etkileyerek yeryüzünün doğal ortamının geri dönülemez bir biçimde değişmesine neden olmaktadır (Cleland, 2013). Turner ve arkadaşları (2007) insan ve çevre sistemlerinin çatışması ile ilgili olarak, “arazi kullanım faaliyetleri, küresel çevreyi, nihayetinde ekosistem hizmetlerine, insan refahına ve uzun vadeli sürdürülebilirliğe zarar verecek şekilde bozar mı?” sorusuna cevap aramıştır. Turner ve arkadaşları (2016), arazi değişimi çalışmalarını küresel çevre değişimi ve sürdürülebilirlik araştırmalarının temel bir bileşeni olarak görmektedir. Arazi değişim bilimi, disiplinlerarası doğası nedeniyle bazı kaynaklarda arazi sistem bilimi, arazi sistemleri, bütünlük arazi değişim bilimi (Maes vd., 2013; Rounsevell vd., 2012; Verburg vd., 2015) gibi farklı ifadelerle de anılmaktadır.

Arazi değişim bilimi ilk olarak bütünlük bir insan-çevre sistem bilimi şeklinde ortaya çıkmıştır. 1986 yılında Uluslararası Bilim Konseyi tarafından yerküre dinamikleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi için Uluslararası Jeosfer-Biyosfer Programı (IGBP) oluşturuldu. Ancak IGBP insan-çevre ilişkisinden ziyade daha çok yerkürenin fiziki dinamiklerine odaklanmayı tercih etmiştir (Turner vd., 2012). Daha sonra 1990’da Uluslararası Sosyal Bilimler Konseyi (ISSC), 1992’de ise Küresel Değişim Araştırma Komitesi ve Ulusal Araştırma Konseyi’nin Küresel Çevresel Değişimin İnsani Boyutları Komitesi gibi bazı bilim camiaları küresel çevrede insanın rolünün önemini ortaya koymaya çalışmışlardır. Bu çabalar daha sonra “Küresel Çevresel Değişim: İnsan Boyutlarını Anlamak” (Stern vd., 1992) başlıklı bir kitap olarak derlenmiştir. Bunun üzerine IGBP ve ISSC, insan faktörünün küresel çevre üzerinde kritik fakat eksik bir değişken olduğunu fark etmiş ve arazi kullanımı ve arazi örtüsü (AKAÖ) değişikliği konularında insan faktörünü geliştirmeye karar vermişlerdir (Turner vd., 1990). Bu karar, NASA’nın araştırmaları da dahil olmak üzere birçok insan-çevre araştırmasını etkilemiş ve bu yönde yeni çalışmaların önünü açmıştır. Böylece 1997’de başlatılan NASA’nın Arazi Örtüsü ve Arazi Kullanım Değişikliği (LCLUC) programı gibi kuruluşlar arazi değişim bilimi’nin temellerini oluşturmuşlardır (Justice vd., 2015).

Bu alandaki bazı araştırmacılar arazi değişim bilimini “temel teorileri, problemleri, metodolojileri ve model uygulamalarını anlamak için AKAÖ dinamiklerinin incelenmesi” şeklinde tanımlamaktadır (Meyfroidt vd., 2022). Arazi değişim biliminin temel amaçları Rindfuss vd. (2004) tarafından: (I) Küresel anlamda süreklilik arz eden arazi değişimlerinin devamlı olarak gözlemlenmesi ve izlenmesi, (II) bu değişikliklerin bütünlük olarak bir insan-çevre sistemi olarak anlaşılması, (III) arazi değişiminin mekânsal olarak farklı şekillerde ve farklı yöntemlerle modellenebilmesi ve (IV) kırılganlık, dirençlilik ve sürdürülebilirlik gibi arazi yönetimi ve politikası sonuçlarının araştırılıp değerlendirilmesi şeklinde ifade edilmiştir. Bu kapsamda değerlendirildiğinde arazi değişim bilimi; iklim değişikliği, sosyal ve çevresel faktörlerle birlikte AKAÖ üzerindeki insan etkinliklerini inceleyerek modelleyen disiplinlerarası bir bilim dalı olarak da tanımlanabilir. Arazi değişim bilimi, veri analizi ve modellemesi için Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) gibi bilgisayar teknolojilerine ağırlık verirken, arazi gözleme, direnç ve uyum stratejilerini de araştırmaktadır. Arazi değişim bilimi çalışmaları hem çevre bilimlerinin hem de beşerî bilimlerin konularını barındırdığı ve bu nedenle çok yönlü olarak incelenmesi gerektiği için ayrı bir disiplinlerarası bilim dalı olarak değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir (Şekil 1).

Arazi kullanımı ve arazi örtüsü kavramları zaman zaman birbirleri ile karıştırılabilmekte, eş anlamlı kelimeler olarak addedilmekte veya sehven birbirinin yerine kullanılabilmektedir. Ancak bu terimler temelde farklı olguları ifade etmektedir. Burada, *arazi kullanımı* terimi insanların çevre üzerindeki etkisini ve dolayısıyla doğal çevreyi insan yararına değiştirme biçimini ifade eder (De Chazal ve Rounsevell, 2009). Örneğin, bir alanda hangi arazi yönetim stratejisi iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmaya yönelik olabileceği konusu *arazi kullanımı* kapsamında değerlendirilir. Buna, tarımsal alanlar, yerleşim alanları, korunan alanlar gibi arazi kullanım şekilleri örnek verilebilir. *Arazi örtüsü* ise bir sahadaki arazi (bitki) örtüsünün durumunu ifade eden bir kavramdır. Ancak buna bitki örtüsünden yoksun alanlar ve su yüzeyleri de dahil olduğu bilinmelidir. *Arazi örtüsüne* örnek olarak ormanlık alanlar, çayır-mera alanları, tarımsal alanlar, sulak alanlar gibi arazi yüzey sınıfları verilebilir. Bu durumda, *arazi örtüsü* daha geniş bir anlam ifade ederken *arazi kullanımı* daha dar anlamlı bir terim olduğu ifade edilebilir.



Şekil 1. Arazi değişim biliminin etkileşim içinde olduğu temel faktörler ve kavramlar

21. yüzyılın başlarında ortaya çıkan ve gelişimine devam eden bir bilim dalı olarak arazi değişim bilimi, çevresel değişimler ve iklim değişikliği çerçevesinde AKAÖ değişikliklerinin türünü, oranını, neden ve sonuçlarını inceleyip anlamaya odaklanan disiplinlerarası bir bilim dalı olarak nitelendirilmektedir (Barber, 2019). Bu nedenle arazi değişim bilimi; UA ve CBS'nin yanında Coğrafi Bilgi Bilimleri (CBB), coğrafya, çevre bilimleri ve politikaları, ekoloji, doğal kaynak ekonomisi, peyzaj ekolojisi ve tarımsal araştırmalar dahil olmak üzere bir dizi ilgili araştırma alanını ilgilendiren bir etkiye sahiptir (Turner, 2009). Arazi değişim bilimi AKAÖ'nün dinamiklerini bütünleşik bir insan-çevre sistemi olarak anlamak için, öncelikle UA verisi ve araçları olmak üzere, insan ve çevre etkileşimini coğrafi bilgi ile birleştirerek ortaya koymaya çalışır. Bu bilim dalının temel çabası, çevresel, sosyo-

ekonomik problemler ve pratik metodolojilerle ilgili teori, kavram, model ve uygulamaları ele almaktır. Arazi değişimine ilişkin uzun vadeli bilimsel bir bakış açısı sağlamak için, sadece arazi yüzeyini belirli bir süre boyunca izlemek ve değerlendirmek yeterli değildir; aynı zamanda insan-çevre etkileşimlerini ve neden-sonuç ilişkilerini ortaya koymak da gereklidir. (Rindfuss vd., 2004). Günümüzde arazi değişim bilimi alanındaki en temel araştırma sorularını Turner ve Robbins (2008) şu şekilde sıralamıştır:

Yeryüzünde ne tür mekânsal değişimler meydana gelmektedir?

Bu değişimlerin mekân-zaman ilişkisi bakımından ne gibi uygulamaları mevcuttur?

Arazideki değişimler doğal çevreyi ve insanı, bölgesel ve küresel ölçekte ne kadar etkilemektedir?

İnsan-çevre arasındaki etkileşim kantitatif ve rasyonel bir şekilde ölçülebilir mi?

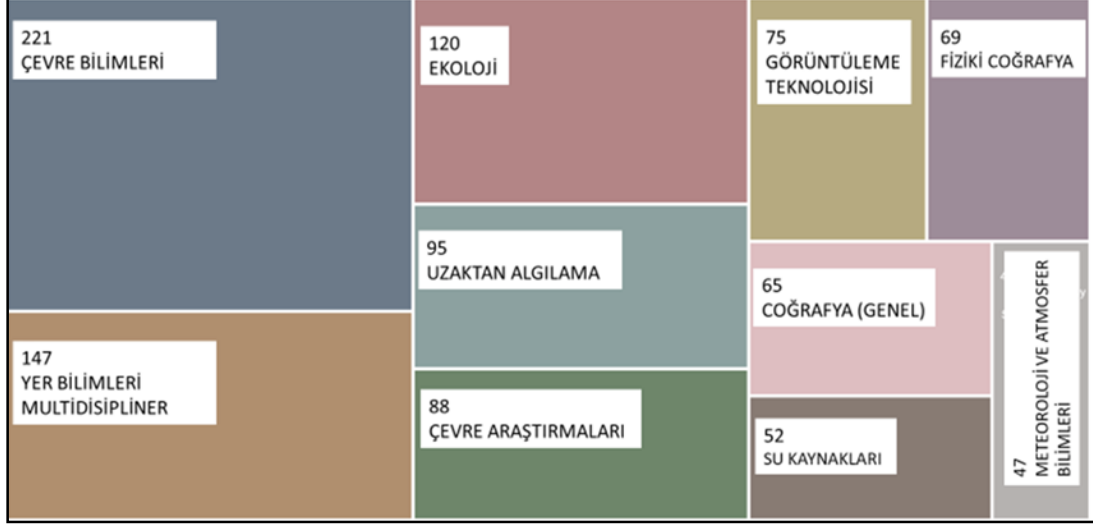
İnsan-çevre sistemlerinde denge analizi anlayışını arazi sistem değişimi teorisine nasıl entegre edebiliriz?

Arazi değişim bilimi kavramına bilimsel literatürde ilk olarak 10-13 Temmuz 2001’de düzenlenen Küresel Değişim Açık Bilim Konferansı’nda rastlanmaktadır. Söz konusu terim, Turner (2002) tarafından kaleme alınan “*Toward integrated land-change science: Advances in 1.5 decades of sustained international research on land-use and land-cover change*” ve 2002 yılında yayınlanmış olan bildiri kitapçığında kullanılmıştır. Bu bakımdan arazi değişim bilimi kavramının dünya çapında nispeten yeni sayılabilecek bir kavram olduğu söylenebilir.

Günümüzde uluslararası literatürde arazi değişim biliminin nitelikli çalışmaları disiplinlerarası ayrı bir bilim dalı kategorisinde yer almaktadır. Türkiye’de, ilgili literatürde AKAÖ değişimleri, tarımsal arazi değişimi, kentsel mekânsal değişimler, sürdürülebilir arazi kullanımı, turizm amaçlı arazi kullanımı, bitki ve toprak formasyonlarının coğrafi dağılışı gibi farklı türden birçok çalışmaya rastlanmıştır. Ancak bu çalışmalar farklı bilim dalları altında yürütülmekte olup birbirinden bağımsız çalışmalar olarak algılanmaktadır. Oysa, yöntemler ve konulardaki bazı farklılıklara rağmen, farklı disiplinlerdeki araştırmacılar tarafından yürütülen bu tür çalışmalar esasında birer arazi değişim bilimi çalışması olduğu aşikardır. Bu nedenle, birbirinden bağımsız çalışmalar olduğu düşünülen bu araştırmaların ortak paydaları ‘insan’, ‘mekân’ ve ‘değişim’ kavramları olan arazi değişim bilimidir.

Türkçe literatür taramasında, Google Akademik platformu, YÖK Tez Merkezi, DergiPark ve Web of Science platformları kullanılarak “arazi değişim bilimi”, “arazi değişimi bilimi”, “arazi sistem bilimi” veya “arazi değişikliği bilimi” şeklinde farklı sözcük öbekleri ile literatür taraması yapılmış, ancak bu kavramların kullanıldığı herhangi bir araştırma bulunamamıştır (URL1, 2022). Aynı kelime öbeğinin İngilizce karşılığı olan “Land Change Science” şeklinde yapılan Google Akademik platformu aramasında 31.10.2022 tarihi itibarı ile, içinde söz konusu sözcük öbeklerinin geçtiği 6,730 adet sonuç bulunmuştur. Bu sonuçların %97,7’si (6,280’i) 2002 yılı ve sonrası tarihliliken yalnızca %2,3’ü 2002 öncesine ait olduğu görülmüştür. Bunun üzerine, yapılan detaylı inceleme neticesinde 2002 öncesi gibi görünen bu sonuçların da hatalı olarak tarihlendirildiği saptanmış, dolayısıyla 2002 öncesi bu kavramın literatüre girmemiş olduğu belirlenmiştir. Aynı sözcük öbeği Web of Science üzerinden ‘bütün filtreler açık’ şeklinde tarandığında 2002 – 2022 arasında “Land Change Science” sözcük öbeğini kullanmış

olan toplam 595 adet sonuç bulunmuştur (Şekil 2). Söz konusu ifade, 2002-2012 yılları arasında yalnızca birkaç sayı ile sınırlı kalırken özellikle 2013 yılından itibaren bu ifadenin geçtiği çalışma sayısında önemli bir artış olduğu saptanmıştır.



Şekil 2. Web of Science platformundan 'Land Change Science' öbeği aramasının disiplinlere göre dağılışı grafiği (Kasım 2022 tarihinde tarandı). Sayılar her disiplinde kaç adet makale yazıldığını göstermektedir.

Türkiye'nin arazi yüzeyinin önemli bir bölümünü kaplayan yarı kurak ve bozkır ekosistemi, biyolojik çeşitliliğin korunması ve sürdürülebilir kaynak yönetimi açısından hayati önem taşımaktadır. Ancak bu ekosistem aynı zamanda en fazla çölleşme, ormansızlaşma ve kentleşme gibi çeşitli arazi değişim sorunlarına da maruz kalan ekosistemlerdendir. Bu nedenle, Türkiye ile birlikte diğer benzer bölgelerde bu yarı kurak ekosistemlerin daha fazla araştırılması, izlenmesi ve korunması sürdürülebilir bir insan-çevre sistemi için son derece önem arz etmektedir. Bu derleme çalışması ile dünyada farklı bölgelerden ve perspektiflerinden arazi değişim bilimine ilişkin mevcut bilgi ve araştırma durumuna kapsamlı bir genel bakış sağlayarak bu boşluğun doldurulması amaçlanmaktadır. Bu çalışmanın temel hedefleri sırasıyla: (1) Arazi kullanımı ve arazi örtüsü izleme, değerlendirme, risk ve kırılganlık analizi ile arazi kullanım modellemesi gibi arazi değişim biliminin ana unsurları üzerine yapılan mevcut çalışmaları sentezlemek; (2) Afrika, Asya, Avrupa, Güney Amerika, Kuzey Amerika ve Okyanusya dahil dünyanın farklı bölgelerinde arazi değişim bilimi üzerine mevcut güncel çalışmaları derlemek ve karşılaştırmak; (3) arazi değişim bilimi kavramını ve kapsamını Türkçe literatürde tanıtmak ve tartışmak ve (4) küresel iklim değişikliği ve çevre değişimleri sorunlarını ele alarak uyum stratejilerini değerlendirmek ve geliştirmek şeklinde ifade edilebilir.

2. Arazi Değişim Bilimi ile İklim Değişikliği Etkileşimi

21. yüzyıl boyunca küresel çapta iklim değişikliğinin, ekolojik, sosyal, ekonomik ve politik alanlar üzerinde etkilerinin artması beklenmektedir (Dale, 1997). Söz konusu artış, biyolojik çeşitlilik, üretim, göç ve sürdürülebilir ekosistemlerdeki değişiklikler gibi unsurlar üzerinde etkili olacaktır. Çevresel değişimler ve iklim değişikliği yakın gelecekte öngörülen iki büyük küresel sorun olarak kabul edilmektedir (Ford vd., 2012). Buna bağlı olarak ilgili literatürde arazi kullanım faaliyetleri ve insan kaynaklı iklim değişikliği konuları oldukça detaylı bir şekilde incelenmiş ve incelenmeye devam

edilmektedir. Bununla birlikte, bu iki unsur birbirleri ile sıkı bir etkileşim içindedirler. İklim değişikliğinin arazi kullanımı üzerindeki etkileri, arazilerin iklim nedeniyle değişikliğe uğramasını ifade eder. Bu değişikliğe örnek olarak, bir bölgede sıcaklığın aşırı derecede artması sonucu kuraklık meydana gelmesi ve neticede o bölgedeki endemik bir türün yok olması verilebilir. Bu bakımdan çevresel değişimler, iklim değişikliği etkilerini ortaya koymanın bir yolu olarak kabul edilebilir.

İklim değişikliği, ekolojik sistemleri farklı mekânsal ve zamansal ölçeklerde etkileyebilmektedir (Mendelsohn ve Dinar, 2009). İklim değişikliğinin yerel bazda etkilerinin tam anlamıyla anlaşılabilmesi için, o bölgenin sıcaklık, yağış, nemlilik, hâkim rüzgâr yönü ve etkileri gibi iklim etmenlerinin özelliklerinin uzun süreli gözlem verileri gereklidir. Bununla birlikte, bölgesel iklim farklılıkları iklim değişikliği nedeniyle zamansal olarak da değişkenlik gösterebilmektedir. Öte yandan, iklim değişikliği gelecek tahminlerinde kullanılan Genel Sirkülasyon Modelleri (GCMs) sıcaklık ve yağış miktarları tahminlerinde büyük oranda farklılık arz ettiğini de ifade etmek gerekir (Robinson, 2020). Bu nedenle, iklim değişikliğinin bölgesel bazda kesin sonuçlarını tahmin etmek oldukça güçtür. Buna rağmen, iklim değişikliğine duyarlı biyomların muhtemel sonuçlarını tespit etmek mümkündür. İklim değişikliğine duyarlı bitki türleri, karbon, enerji ve su ihtiyacına göre bölgesel farklılık arz edebilir. Bu alandaki ilk çalışmalardan biri sayılan Holdridge (1967)'nin Yaşam Alanı Sınıflandırması, iklim değişikliği ile küresel ekosistemlerdeki potansiyel değişimleri incelemek için kullanılmaktadır (Derguy vd., 2019; Tekin, vd., 2021). Holdridge sınıflandırma şeması, ana ekosistemlerin dağılımı, yıllık ortalama sıcaklık, yağış ve potansiyel buharlaşmanın yağışa oranı ile ölçülmektedir.

2.1. İklim Değişikliğinin Bitki ve Besin Zinciri Üzerindeki Etkileri

Doğal bitki örtüsünün iklim değişikliğine tepki vermesi yıllar ve hatta yüzyıllar alabilen yavaş bir süreçtir. Söz konusu değişim doğrudan bölgenin sıcaklık değerlerindeki değişim kaynaklı olabileceği gibi hava sirkülasyonlarındaki değişimler, mevsimlerin kayması, su kaynaklarındaki değişimler, günlük veya yıllık sıcaklık farklarındaki değişimler veya başka biyomların artması-azalması gibi farklı nedenlerden kaynaklanabilir. Ayrıca bu olayların sonucu olarak bitki besin zincirinde önemli rol oynayan toprak ayrışma oranlarındaki değişiklikler de bitkilerin besin döngüsünü değiştirebilir. Bu gibi nedenler bazı bitkilerin yetiştirme alanlarının mekânsal değişimi anlamına gelen *tür kaymaları* ile sonuçlanabilir (Jantsch vd., 2013). İklim değişikliğiyle ilişkili *tür kaymaları* besin döngüsü modellerini de değiştirebilir (Metcalf vd., 2014). Sıcaklık ve yağış değerlerindeki değişimlere bağlı olarak bitki verimliliğinin bazı bölgelerde düşmesi ve bazı bölgelerde ise artması beklenmektedir. Hayvanların iklim değişikliğine uyum stratejileri ise genetik çeşitliliğe bağlı olmakla birlikte genellikle göç etmek şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Ancak, yine de farklı bitki ve hayvan türlerinin iklim değişikliğine, su ve besin değerlerindeki değişimlere nasıl tepki vereceğine dair kesin bir yargıya varmak oldukça güçtür. Buna rağmen iklim değişikliğinin türler arasında rekabetçi etkileşimleri arttıracağı öngörülmektedir.

İklim değişikliği, arazi kullanımını doğrudan ya da dolaylı olarak etkileyebilir. İklim değişikliğinin en iyi tahmin edilebilen etkilerinden biri tarımsal üretim üzerindeki etkileridir (Malhi vd., 2021). Tarımsal arazi uygunluk çalışmalarında iklim değişikliğinin tarımsal verim üzerindeki etkisini değerlendirirken, iklim değişikliğinin insanların en yoğun biçimde tükettikleri tahıl ürünleri üzerindeki etkilerine dikkat çekmektedir (Ozsahin ve Ozdes, 2022a). İklim değişikliğinin tahıl verimi üzerindeki

etkileri, bölgesel çevresel farklılıklara ve geleneksel tahıl yetiştiriciliğinin farklılıklarına bağlı olarak değişebilmektedir. Bu nedenle, iklim değişikliğinin arazi uygunluğu üzerindeki etkilerine odaklanan araştırmalar; Hindistan (Singh vd., 2017), Nepal (Khanal vd., 2018), Çin (Wang ve Hijmans, 2019) ve Tayland (Arunrat vd., 2020) gibi yüksek tahıl üreten ülkelerde artmaktadır.

Tarımsal ürün verimindeki değişimleri ve tarımsal uygunluk alanlarının mekânsal değişimleri (Ozsahin ve Ozdes, 2022b) iklim değişikliğinin doğrudan etkilerindedirler. Örneğin bölgesel yağışların azalması sulama ihtiyacının artmasına neden olurken yağışların artması ise sulama ihtiyacını azaltabilir veya ortadan kaldırabilir. Dolayısıyla, değişen sıcaklık ve yağış değerleri, ürünlerin mekânsal uygunluk kriterleri üzerinde son derece önemli role sahiptir. Bu etkilerin olumsuz sonuçları olarak, gıda üretim miktarının azalması, üretim maliyetlerinin artması, yoksulluk ve açlık riski altındaki insan sayısının artması gibi sonuçlar sayılabilir (Özşahin vd., 2019). Bu konuda arazi sahibi veya yerel yönetimler araziye en uygun tarım ürünlerinin ekilmesini sağlamalı ve mahsul veriminin, çevre ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı korumaya almalıdırlar. Sonuç olarak, iklim değişikliğine bağlı tarımsal arazi değişimlerinin neden ve sonuçlarını kavramak, arazi değişim bilimi çalışmaları ile insan-çevre arasındaki bu etkileşimin daha iyi anlaşılması ile mümkündür.

İnsan nüfusunun önemli bir kısmı kıyı bölgelerindeki arazilerde yoğunlaşmıştır (Uddin vd., 2019). Buna bağlı olarak kıyı bölgeleri, sosyo-ekonomik faaliyetlerin yoğunluğu nedeniyle dikkatleri üzerine çeken bölgelerdir. Kıyı bölgelerinde, iklim değişikliği nedeniyle deniz seviyesinin yükselmesi ve tuzlu su oranını artması gibi çeşitli şekillerde su miktarı ve kalitesi üzerindeki etkileri olacağı tahmin edilmektedir. Aynı zamanda yeraltı su seviyesinin yükselmesi nedeniyle kıyıların kritik bölgeler olduğu bilinmektedir (Moser ve Davidson, 2015). Küresel iklim modelleri, ekstrem iklim olaylarının, dünyanın birçok kıyı bölgesinde tarım sektörünün daha yüksek emisyon senaryoları altında ciddi şekilde etkilendiğini ortaya koymaktadır (Ruane vd., 2013). Bu nedenle, kıyı bölgelerindeki değişimlerin sosyal ve ekonomik sistemler üzerinde öngörülebilir ve modellenabilir önemli etkileri olacağı konusunda somut bulgular ve ibareler mevcuttur.

2.2. Arazi Kullanımında İklim Değişikliği Senaryoları ve Modellemeler

Belirli aralıklarla toplanan Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), iklim değişikliğinin etkilerinin tartışıldığı en önemli panellerden biridir (Pörtner vd., 2022). IPCC raporuna göre artan sera gazlarının yakın gelecekte yeryüzünde çeşitli sorunlara neden olacağı öngörülmektedir. İklim değişikliğinin temel etkileri; deniz seviyesinin yükselmesi, fırtına ve kasırgaların şiddetinde artışlar, şiddetli yağış olayları, kuraklık sıklığının artması gibi olaylarla ortaya çıkacaktır (Chokkavarapu ve Mandla, 2019). Bu alandaki araştırmacılar çalışmalarında hidrolojik döngünün gelecekteki değişimini ölçmek için küresel iklim modelleri, bölgesel iklim modelleri ve hidrolojik modeller gibi farklı modelleme yaklaşımlarını kullanmaktadırlar. Söz konusu çalışmalarda, farklı değişkenler ve senaryolar kullanılarak modeller oluşturulmaktadır. Bu çalışmaların ortak kaygısı olarak, su kaynaklarının korunmasının hem kara hem de deniz/okyanus ekosisteminin biyolojik çeşitliliği korumak için vazgeçilmez bir unsur olduğu vurgulanmıştır (Karaman ve Gökalp, 2010). Ayrıca insan ihtiyaçları sıralamasında en önde gelen gıda üretimi için tarımsal ve endüstriyel sektörlerin sürdürülebilirliği için de su kaynaklarının korunmasının oldukça önemli olduğu vurgulanmıştır (Aküzüm vd., 2010). Ancak,

yeryüzündeki flora ve fauna türlerinin tamamen korunması, arazilerin bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesi ve bu ekosistemler arasındaki ilişkinin mekânsal istatistikle ortaya konmasını gerekli kılmaktadır. Böylece, biyom düzeyinde türlerin iklim değişikliği sürecine adaptasyonu ve uyum sağlamaları mümkündür (Dale, 1997).

Çeşitli iklim değişikliği senaryoları yirminci yüzyılın son çeyreğinden itibaren var olsa da iklime bağlı arazi kullanım değişikliği senaryoları nispeten yeni araştırmalarda ortaya çıkmaya başlamıştır (Akpoti vd., 2019; Marhaento vd., 2018). Antropojenik bir aktivite olarak AKAÖ değişiklikleri, albedo ve buharlaşma gibi arazi örtüsünün fiziksel özelliklerini değiştirerek ekosistemleri etkileyebilmektedir (Cui vd., 2021). Örneğin, karbon tutma oranları bakımından farklılık arz eden bitkiler hem çiftlik hayvanları hem de yaban hayatı türlerinin beslenmesinde oldukça önemli etkileri vardır. Çiftlik hayvanları için yağmur suyu ile yetişen yemlerin sağlanması, biyolojik çeşitliliğin korunmasına katkı sağlayacağı gibi değişen iklime adaptasyonlarını da kolaylaştıracaktır. Dolayısıyla, mevcut ekosistemlerin iklimsel gereksinimlerinin iyi anlaşılması ve iklim değişikliği senaryolarına göre değişim olasılıklarının analiz edilmesi ancak arazi değişim bilimi çalışmalarının entegrasyonu ile mümkündür (Reeves vd., 2018; Wu vd., 2019).

IPCC 6. değerlendirme raporunda farklı iklim değişikliği senaryoları altında gelecekteki etkileri ve riskleri tanımlanan bir bölüm mevcuttur. Söz konusu bölümde, bölgeler ve sektörler arasında 127 kilit risk faktörünün bulunduğu tespiti yapılmıştır (Pörtner vd., 2022). Bu faktörler, alçak kıyı sistemleriyle ilgili sekiz kapsayıcı risk kategorisi altında ele alınmıştır: (1) kara ve deniz/okyanus ekosistemleri, (2), kritik fiziksel altyapı, (3), ağlar ve hizmetler, (4) yaşam standartları ve eşitlik, (5) insan sağlığı, (6) gıda güvenliği, (7) su güvenliği ve (8) barış ve göç şeklindedir. Küresel ısınmanın artması ile, yüksek kırılabilirlik içeren ekolojik ve toplumsal koşullar altında risklerin dramatik şekilde artması beklenmektedir. Özellikle gelişmekte olan düşük gelirli ülkelerdeki hızlı nüfus artışları ve yüksek gelirli gelişmiş ülkelerde göçlere bağlı nüfus artışları şeklinde sorunlarla karşılaşılması kaçınılmaz olacaktır. Hızlı kentleşme, biyoçeşitlilik kaybı ve iklim değişikliği arasındaki yakın bağlantıyı kavramak ve risk dağılımını buna göre belirlemek, bu bağlamda son derece önemlidir.

Türkiye için ise öngörülen iklimsel değerler bölgesel farklılık gösterse de genellikle yarı kurak iklim kuşağında yer alan diğer bölgelerle paralellik göstermektedir. Türkiye’de yapılan çalışmalarda günümüz ve gelecek için NASA-Sonlu Hacim Genel Dolaşım Modeli (fvGCM) tarafından üretilen projeksiyonların kullanılması ile Bölgesel İklim Modeli (RegCM3) kullanılarak dinamik ölçek küçültülmesi ile modellemeler yapılmıştır (Önol vd., 2011). Bu modellerde günümüzde ve 2071-2100 arasındaki tarihlerin simülasyonları için IPCC tarafından belirlenen sera gazları emisyon senaryoları kullanılmıştır. Yapılan bölgesel değerlendirmeler neticesinde özellikle Ege Bölgesi’nde yaz dönemi sıcaklık artışlarının oldukça yüksek olması öngörüldüğü sonucuna varılmıştır. Bu bölgede 2071-2100 periyodunda sıcaklık değerlerinde 5 dereceye kadar artış olabileceği öngörülmüştür. Yine aynı çalışma sonucunda, Fırat ve Dicle nehir havzalarındaki yağış değerlerinde önemli oranda düşüş yaşanacağı ve bu da iklimin su kaynakları üzerinde ciddi olumsuz sonuçları olacağı şeklinde değerlendirilmiştir.

2.3. Kırılganlık, Direnç, Zarar Azaltma ve Uyum Süreçleri

Berkes (2007), küresel iklim değişikliği ile bağlantılı kırılganlığın (vulnerability) yalnızca doğrudan iklimsel tehlikelere maruz kalarak yaşanmadığını, aynı zamanda tehlikeye maruz kalan doğal ve beşerî sistemin direncinin (resilience) de önemli bir faktör olduğunu vurgulamıştır. Arazi değişim biliminde direnç kavramı bir sistemin temel yapısal karakteristiğini korumada doğal afetler gibi süreç içinde tekrarlayan olayları absorbe etme kapasitesi olarak tanımlanabilir. Direnç, kırılganlık için üç nedenden dolayı önemlidir: (1) Entegre bir insan-çevre sisteminde tehlikeleri bütüncül olarak değerlendirmeye yardımcı olur, (2) bir sistemin bir tehlikeye başa çıkma, tehlikeyi absorbe etme veya ona uyum sağlama yeteneğine vurgu yapar ve (3) gelecekte meydana gelebilecek değişimlerde belirsizliklerle başa çıkmak için uygun yönetim ve politika araştırmalarında yardımcı olur (Berkes vd., 2000). Bütünleşik insan-çevre sistemlerine direnç kazandırmak, bilinmeyen riskler barındıran değişimlerle başa çıkmanın etkili bir yoludur. Berkes (2007), direnç oluşturmak için dört faktörün öneminden bahseder: değişim ve belirsizlikle yaşamayı öğrenmek; riskleri azaltmak için ekolojik, sosyal ve politik çeşitliliği artırmak; öğrenme ve problem çözme becerisi için bilgi yelpazesini genişletmek ve son olarak, yerel otoritelerin güçlendirilmesi de dahil olmak üzere örgütlenmeye yardımcı fırsatlar yaratmak şeklindedir.

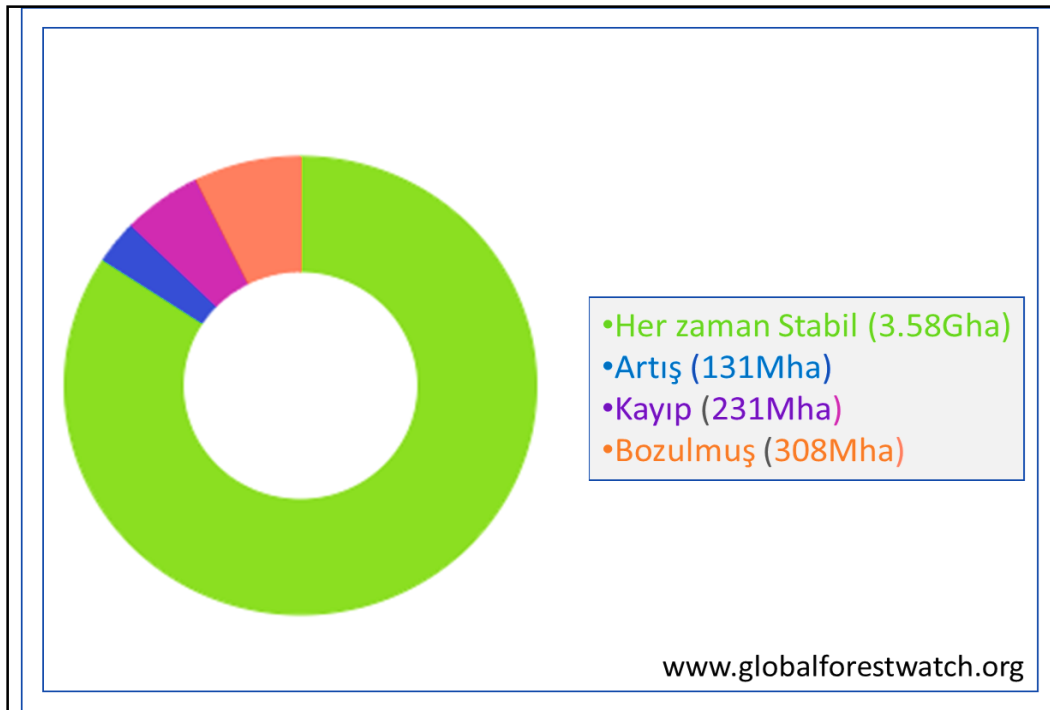
Yeryüzü sistem modelleri, iklim unsurlarının altında yatan en karmaşık fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçleri araştıran kompleks modellerdir. Bunlar, aynı zamanda yer kürenin etkileşimli atmosfer-kara-okyanus-buzul sistemlerini bir model hiyerarşisinde simüle ederler (Bonan ve Doney, 2018). Söz konusu modeller hem karasal hem de denizel ekosistemleri içinde barındırırlar. Neticede, kara ve deniz ekosistemlerini etkileyen aynı küresel değişim etmenleri, iklim değişikliğinin süreçlerini de etkilemektedirler (Bunting vd., 2016). Ancak bununla birlikte, antropojenik iklim değişikliği etkilerini azaltabilecek müdahalelerin önemli bir kısmı biyosferde gerçekleşir. Biyosferin temel elemanları olan ormanlar, su kaynakları, karasal ve denizel ekosistemler, sosyal ve ekonomik kaynakların korunması ise sürdürülebilir insan-çevre ilişkileri için son derece önemli ve gereklidir (Walker vd., 1999).

Çevre ve insan kaynaklarının değişen iklim koşullarının etkilerine karşı kırılganlığını azaltmak ve sistemleri buna uyarlamak oldukça elzemdir. Bu nedenle, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini hafifletmeyi ve zarar azaltmayı amaçlayan uygun iklim politikaları geliştirmek kaçınılmaz bir gerekliliktir (Bonan ve Doney, 2018). Uzun ömürlü sera gazlarının kaynak çıkışını azaltarak yutaklarını artırmak antropojenik iklim değişikliğini azaltmanın en doğal ve direk yollarından biri olarak kabul görmektedir. Ancak, sera gazlarını azaltmak için yapılan müdahalelerin ekosistemler üzerinde farklı olumsuz etkileri de olabilmektedir. Örneğin, yeniden ağaçlandırma çalışması karasal karbon yutağını artırmakta ancak, aynı zamanda yüzey albedosunu düşürmektedir. Bu da bölgesel yıllık ortalama sıcaklığın artışına neden olabilir (Betts vd., 2004). Aynı zamanda yoğun bitki örtüsü, buharlaşma-terleme yoluyla karasal nemliliğe katkıda bulunur.

3. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Tekniklerindeki Gelişmeler

Yaklaşık olarak son altmış yılda CBS ve UA teknolojilerindeki gelişmeler, çevre ve ekolojik gözlem aşamalarında önemli gelişmeleri de beraberinde getirmişlerdir. 20. yüzyıla kadar küresel çapta ormanların kapsamlı bir şekilde haritalanabileceği öngörülemezken, günümüzde küresel arazi

sınıflandırma alanlarındaki değişimleri, artış ve azalışlarını gözlemleme imkânı veren çalışmalar mevcuttur. Bir arazi gözlem görevi olarak orman alanlarındaki kantitatif değişim hem ekolojik hem de beşerî anlamda oldukça önem arz etmektedir. Son yıllarda buna imkân sağlayan bir çalışma olarak Potapov vd., (2022) idari alandaki tüm küresel arazilerde (Antarktika ve Kuzey Kutbu adaları hariç) net orman örtüsü değişimini kantitatif olarak hesaplamıştır. Söz konusu çalışmaya göre 2000'den 2020'ye kadar dünya orman örtüsünde -101 Milyon ha'lık (%-2,4) net bir değişim yaşanmıştır (Şekil 3). Bu alanda çalışmalar henüz erken safhalarında olmasına ve önemli geliştirmelere ihtiyaç duymasına rağmen günümüzde yıllık ve on yıllık olarak orman alanlarının artış ve kayıpları gözlemlenebilmektedir (Hansen vd., 2013).



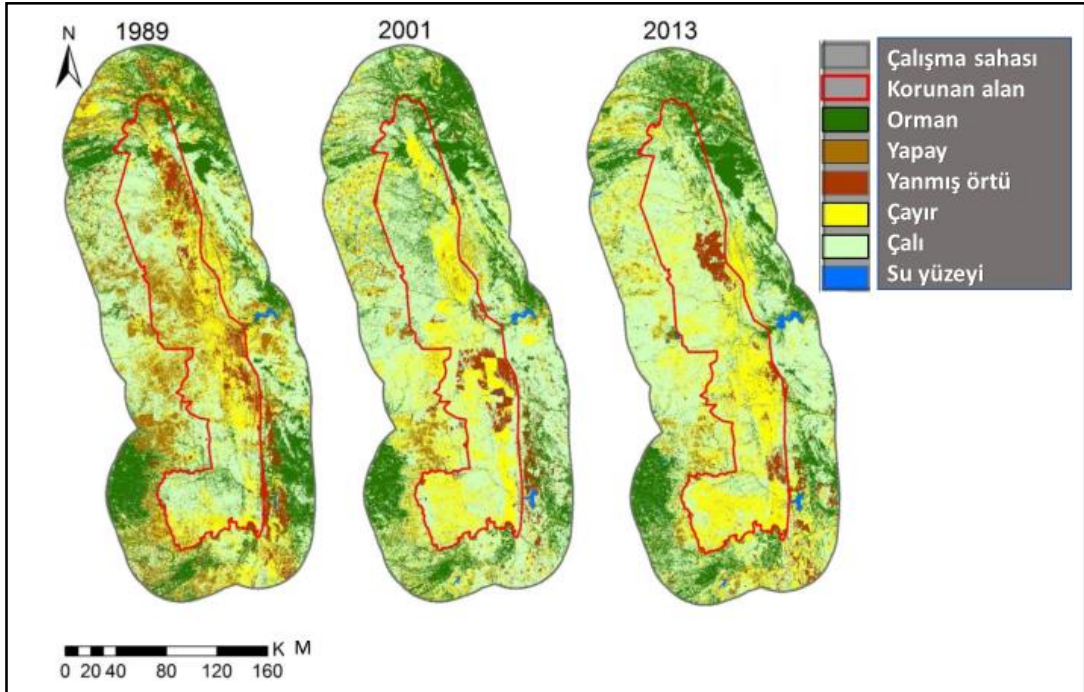
Şekil 3. 2000 ile 2020 yılları arasında küresel orman örtüsündeki net değişim

Kaynak: globalforestwatch.org'dan değiştirilerek hazırlanmıştır.

CBS ve UA teknolojisi, yalnızca ekolojik perspektiflerdeki bilgimizi geliştirmekle kalmamış aynı zamanda ilgili bilim dalları arasında yeni bağlantı fırsatları yaratmıştır (Southworth ve Gibbes, 2010). Özellikle son elli yılda sayıları oldukça artan, buna karşın maliyetleri düşen küresel çapta orta ve yüksek çözünürlüklü uydu verileri, analizlerin kapsamını küçük arazi parçalarından küresel ve geniş bölgesel alanlara çıkarmıştır. Henüz birçok sınırlamanın varlığına rağmen, UA teknolojisi, şu anda mevcut hava ve uzay kaynaklı sensörlerden gözlem kapasitesi açısından oldukça umut vericidir. Bununla ilgili olarak, sadece ekolojik anlamda mekânsal araştırmaların değil, aynı zamanda beşerî faktörlerin ekonomik ve sosyal yapısını birbirine bağlayan UA ve Arazi Değişim Bilimi bağlantısının geliştirilmesi gerektiği de aşıkardır (Chambers vd., 2007). Öte yandan, yaklaşık son yirmi yıllık süreçte CBB alanındaki gelişmeler ve özellikle makine öğrenimli sınıflandırma yöntemleri gibi teknikler sayesinde büyük miktarda UA verisini kısa sürede işleyerek arazi değişim bilimine hem hız kazandırmış hem de yüksek doğrulukta analiz imkânı sağlamıştır (Özdeş ve Southworth, 2023).

3.1. Arazi Değişim Bilimi'nde Yer Gözlemleri

Küresel arazi değişiminin temel nedenleri arasında başta antropojenik iklim değişikliği ve küresel çevre değişimleri görülmektedir (Turner vd., 2007). Özellikle sanayi devrimi sonrasında yeryüzünde meydana gelen beşerî aktivitelerin sonucu olarak atmosferde de çeşitli fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler de döngüsel olarak arazi değişimlerinin hızlanmasına katkıda bulunmaktadır. Ancak, küresel anlamda arazi değişimlerinin kantitatif olarak hesaplanmasında çeşitli güçlükler mevcuttur (Southworth ve Gibbes, 2010). Gezegemimizin uydu görüntüleri aracılığı ile gözlemlenmeye başlanması özellikle Landsat gibi yer gözlem uydularının küresel çapta veri toplamaya başladığı yaklaşık son kırk yıllık süreçten ibarettir. Özellikle 21. Yüzyıldan itibaren ise MODIS ve Sentinel gibi yeni küresel gözlem uyduları devreye girmiştir. Ancak bu süreçte de gözlem uydularının çeşitli nedenlerle eksik veya yer yer hatalı veri topladığı bilinmektedir. Bu nedenle bütün yeryüzünün uzun süre kesintisiz bir gözlemi ve buna bağlı verisi mevcut değildir. 1982'den beri Landsat 4 ve 5 uydularının nispeten uzun bir periyot kapsayan verisi yer gözleminde önemli katkılar sağlamıştır. Örneğin son çeyrek asırda yeryüzü doğal orman örtüsünün önemli bir kısmının tahrip edildiği varsayılırken yer gözlem uydularının sağladığı veri sayesinde bilinenin aksine, küresel orman alanlarının kapladığı alan 1982'den 2016'ya kadarki süreçte %7,1'lik bir artış kaydettiği gözlemlenmiştir (Song vd., 2018). Bunun gibi birçok çalışma ile küresel uydu görüntüleri bize mekânsal olarak detaylı bir bilgi zenginliği sunmaktadır. Ayrıca, yalnızca orman ve bitki örtüsü değil, yerleşim ve tarımsal alanlar gibi yapay alanlar ile yakılmış bitki örtüsü gibi farklı arazi örtüleri ile ilgili de detaylı kantitatif mekânsal bilgi sunmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Kruger Ulusal Parkı ve 40 km'lik tampon bölgesinin farklı yıllarına ait arazi örtüsü değişimi
Kaynak: Özdeş, 2017'den değiştirilerek hazırlanmıştır.

Küresel arazi değışiminin temel nedenleri doğrudan veya dolaylı olarak insan faaliyetleri ile ilişkilendirilmektedir. Yapılan çalışmalarda, arazilerin yaklaşık %60'ı doğrudan insan faaliyetleri ile ilişkilendirilirken %40'ı ise iklim değışikliği gibi dolaylı insan faaliyetlerinin sonucu olarak görülmektedir (Dale, 1997; De Chazal ve Rounsevell, 2009). Arazi kullanım çeşitliliği, bölgesel farklılıklar göstermekle birlikte, doğrudan arazi müdahaleleri temelde ormansızlaştırma, tarımsal arazi genişletme, kentleşme, ağaçlandırma, gibi insan faaliyetleri şeklinde gerçekleşmektedir. Global ölçekte gözlemlendiğinde son yıllarda dağ sistemlerinin orman örtüsünde artış görülürken kurak ve yarı kurak alanlarda genellikle bitki örtüsü zayıflaması ve kaybı şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda, genel bir ifade ile belirtmek gerekirse, 21. Yüzyılda gerçekleşen bütün arazi değışimlerinde kaçınılmaz olarak insan-egemen bir arazi değışimi ile karşı karşıyayız.

Genel olarak kontrol mekanizması bağlamında değerlendirildiğinde, uydu görüntülerinin sınıflandırılması kontrollü yöntemler ve kontrolsüz yöntemler olmak üzere iki temel yöntemle yapılmaktadır (Hagenauer vd., 2019). Kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma yöntemleri aynı zamanda makine öğrenmesinde kullanılan iki temel algoritmadır. Kontrollü yöntemlerde algoritma, çıktılarının hatalarını azaltmak için kendi parametrelerini optimize eder. Bu yöntemlerde kullanıcının arazi sınıflarını belirleme üzerinde temel kontrolü söz konusudur. Bu yöntemde kullanıcı önceden çalışma alanında bilinen örnek sınıfları belirlemelidir. Belirlenen örnek sınıflara eğitim noktası veya eğitim örnekleme adı verilir. Böylece bu bölgede spektral olarak ayırt edilebilir veri seti oluşturulur. Kontrolsüz yöntemler ise yalnızca eldeki verileri yazılım aracılığı ile mekanik olarak ayırt ederek çıktılarını sunmaktadır. Bu yöntemde veriler sınıflandırılmamıştır ve kullanıcı tarafından önceden belirlenen sınıflar/kategoriler bulunmaz. Burada temel amaç, insan müdahalesi olmadan verilerdeki kalıpları ve veriler arasındaki benzer bağlantıları ortaya koymaktır. Kontrolsüz yöntemler aynı zamanda iklim modellemesinde veriler arasında farklı bağlantıları ve telebağlantıları (teleconnections) keşfetmede yardımcı olan yöntemlerdir. Bu yöntemde algoritma verilerin belli özelliklerini baz alarak veya verilerin (ör. uydu görüntülerindeki piksellerin) benzerliklerini temel alıp otomatik olarak sınıflandırır (Olaode vd., 2014). Huntingford vd., (2019)'a göre iklim ve arazi sistemleri ile ilgili araştırmacılar için en büyük zorluklardan biri de kontrolsüz makine öğrenmesi yöntemleri ile yapılan ve mekanik anlayış gerektiren modellemelerde patern ve bağlantıların ortaya çıkarılması sorunsalıdır (Pontius vd., 2004).

3.2. Mekânsal Arazi Sınıflandırmasında Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin Kullanılması

Mekânsal arazi sınıflandırması, arazi değışim biliminin vazgeçilmez unsurlarından biridir. Yer gözlem uyduları ve uzaktan algılama teknolojilerindeki gelişmeler, muazzam miktarlarda küresel uydu verisi elde edilmesini sağlamıştır. Ancak bu büyük miktardaki verileri geleneksel yöntemlerle makul bir doğruluk seviyesinde işlemek ve analiz etmek oldukça güçtür. Öte yandan, 21. yüzyılda hızla gelişen makine öğrenmesi yöntemlerinin sınıflandırma çalışmalarına dahil edilmesi, bu büyük miktardaki uzaktan algılama verilerini yüksek doğrulukla işlemek için uygun bir yöntem olduğu anlaşılmıştır. Uydu verilerinin kullanılabilirliğinin ve çözünürlüğünün artmasıyla birlikte, makine öğrenmesi modelleri büyük miktardaki UA verilerinin işlenmesi ve analiz edilmesi için gerekli hale gelmiştir (Ozdes, 2023). Makine öğrenmesi yöntemleri, düşük oranda varsayım barındıran veya hiç varsayım barındırmayan veri çıkarımına yönelik otomatik veya yarı otomatik yöntemlerdir. Birçok araştırmacı, arazi sistemlerinin bileşenlerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamak için sınıflandırma çalışmalarında

makine öğrenmesi yöntemlerini benimsemişlerdir. Karmaşık arazi sistemlerinin bileşenleri arasındaki bağlantıların ve bunların iklimle tepkimelerinin sonuçlarını kavramak için makine öğrenmesi yaklaşımlarını kullanmak oldukça önemli avantajlar sağlamaktadır.

AKAÖ sınıflandırmasında kullanılan çok çeşitli makine öğrenmesi algoritması bulunmaktadır. Bunların başında; Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machines - SVMs), Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks - ANN), Karar Ağaçları (Decision trees -DT), ve Rastgele Orman (Random Forest - RF) gibi sınıflandırma algoritmaları gelmektedir. Her algoritmanın kendine özgü avantaj ve dezavantajlı yönleri bulunmaktadır. Bu nedenle, algoritma seçimi projenin özel ihtiyaçlarına, mevcut verilerin boyutu ve özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir (Kıraç, 2021; Tırmanoğlu vd., 2023). UA uydu görüntülerini sınıflandırmak için en yaygın kullanılan makine öğrenmesi (Abdi, 2020; Chaturvedi ve Vries, 2021) yöntemlerinden dört tanesi şu şekilde sıralanabilir:

1. (Support Vector Machines - SVMs) Destek Vektör Makinesi (DVM): Uzaktan algılamada arazi sınıflandırması için en yaygın kullanılan makine öğrenmesi yöntemlerinden biri DVM algoritmasıdır. DVM, verileri sınıflara ayırmak için yüksek boyutlu uzayda bir hiper düzlem veya bir dizi hiper düzlem oluşturan denetimli bir öğrenme algoritmasıdır. DVM, arazi örtüsü sınıflandırması, bitki örtüsü haritalama ve uydu görüntülerinden kentsel alan tespiti gibi mecralarda başarıyla kullanılmaktadır.

2. (Artificial Neural Networks - ANN) Yapay Sinir Ağları (YSA): Bu algoritma da UA uydu görüntüsü sınıflandırması için yaygın olarak kullanılmaktadır. YSA, insan beyninin davranışını simüle ederek bilgiyi işleyen ve ileten, birbirine bağlı düğümlerden veya nöronlardan oluşan hesaplama modelleridir. Bir YSA türü olan Evrimsel Sinir Ağları (Convolutional Neural Networks - CNN's), arazi örtüsü haritalama ve tarımsal verimlilik çalışmaları gibi UA uygulamalarında uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında önemli bir potansiyel göstermiştir.

3. (Decision Trees - DT) Karar Ağaçları (KA): UA görüntü sınıflandırması için basit ama etkili bir algoritmadır. KA, kararları ve bunların olası sonuçlarını modellemek için ağaç benzeri bir grafik kullanan bir karar destek aracıdır. KA, orman sınıflandırması, arazi kullanımı haritalaması ve kentsel alan tespiti gibi UA uygulamalarına uygulanmaktadır.

4. (Random Forests - RF) Rastgele Ormanlar (RO): Son olarak, uydu verilerinin sınıflandırılması için yaygın olarak kullanılan en son ortaya çıkan makine öğrenmesi modeli ise RO algoritmasıdır. RO, sınıflandırma sonuçlarının doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmak için birden fazla karar ağacını birleştiren bir toplu öğrenme yöntemidir (Breiman, 2001). RO, verim haritalama, arazi sınıflandırması ve su kütlesi tespiti gibi çeşitli UA uygulamalarında yüksek başarı ile uygulanmıştır. RO algoritması, önceki yöntemlere kıyasla daha kapsamlı özelliklere sahip olması nedeniyle özellikle dikkat çeken, görece yeni bir yaklaşımdır. Uydu görüntüleri verisini kullanarak arazi desenlerini daha doğru bir şekilde karakterize etme ve yüksek bir hassasiyet seviyesine ulaşabilme yeteneği nedeniyle RO, arazi değişiklikleri çalışmalarında yoğun olarak kullanılan bir yöntemdir.

Yaklaşım temelli düşünüldüğünde ise Huntingford vd., (2019) temelde arazi değişimlerinde kullanılan dört farklı makine öğrenmesinden söz etmektedir. Bunlar Gauss Süreçleri (Gaussian

Processes), Gradyan İniş Yöntemi (The Gradient Descent Method), Doğrusal Olmayan Gauss Dışı Çıkarımlar (Nonlinear non-Gaussian Inferences) ve Derin Öğrenme (Deep Learning) yaklaşımlarıdır. Gauss Süreçleri, geçmiş durumun özelliklerini kullanarak sürekli veri setleri oluşturmak için yeterli veri miktarına sahip olmayan bölgeler için verilerin ekstrapolasyonuna izin vermektedir. Gradyan İniş Yöntemi, ekosistemin sıcaklığa verdiği tepkiler gibi işlevsel konularda belirleyici olabilmektedir. Doğrusal Olmayan Gauss Dışı Çıkarımlar, daha fazla veri elde edildikçe aşamalı olarak güncellenen temel yer sistemi model parametrelerini iyileştirir. Derin Öğrenme yaklaşımları, hesaplama açısından zorlu bileşenlerini taklit ederek varsayımsal veriler üretir ve genellikle doğrusal olmayan verilerdeki ilişkileri ortaya çıkarmak için derin sinir ağlarının (Deep Neural Network) ve grafik yapıların kullanımına odaklanır (Ardabili vd., 2019).

4. Kurak ve Yarı Kurak Ekosistemlerdeki Arazi Yapısı ve Arazi Değişimleri

Son yıllarda uluslararası literatürde birçok farklı disiplinden araştırmacılar insan kaynaklı arazi değişimi araştırmalarına daha fazla yoğunlaştığı görülmektedir (DeFries vd., 2010; Wittemyer vd., 2008). Ancak, kurak ve yarı kurak alanlardaki dinamik, kırılğan ve karmaşık arazi örtüsünün varlığı nedeniyle sürekli yeni ve güncel sınıflandırma çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte, son iki asırda atmosferde küresel karbon değerlerinin artışı ile meydana gelen küresel iklim değişikliği (Mendelsohn ve Dinar, 2009) de sorunu daha da derinleştirmektedir (Southworth vd., 2004). Kurak ve yarı kurak alanlardaki bitki örtüsü, karmaşık yapısı nedeniyle diğer ekosistemlerin çoğundan çok daha az dirençlidir (Biggs, 2003; Wessels vd., 2006, 2011). Bu nedenle yakın gelecekte özellikle orta kuşak iklim bölgelerinde kuraklık sorununda artış görülmesi muhtemeldir (Foto 1).

Kurak ve yarı kurak ekosistemleri yapısı itibari ile temelde iki farklı arazi örtüsü olarak sınıflandırabiliriz: Bunların birincisi otsu bitkiler, ikincisi ise odunsu bitkilerin oluşturduğu örtüdür (Sankaran vd., 2005). Bununla birlikte, birçok araştırmacı ise odunsu bitkilerin yaygın olduğu arazi türünü çalı ve ağaç örtüsü olarak iki alt kategoriye ayırmayı tercih etmektedir (Kiker vd., 2014; Venter, 1991; Wessels vd., 2011).

Odunsu bitkilerin kurak ve yarı kurak arazi sistemlerindeki flora ve faunanın düzgün işleyişi üzerinde; yağışma oranları, üretkenlik, hidrolojik denge, besin döngüsü ve toprak erozyonu üzerindeki etkileri de dahil olmak üzere birçok etkisi söz konusudur (Sankaran vd., 2008).



Foto 1. Yarı kurak ekosistemi temsilen bir görüntü.

Kaynak: www.creativefabrica.com platformunda yapay zekâ teknolojisi kullanılarak üretilmiştir.

Kurak ve yarı kurak bölgelerin iklim değişikliği ve arazi kullanımındaki değişikliklere oldukça duyarlı olduğu bilinmektedir. Bu nedenle araştırmacılar, başlıca çevresel değişkenler ile söz konusu bölgeler arasında, özellikle odunsu bitkilerle ilişkilerin nicelleştirilmesine ve somut bir özellik kazandırmasına yoğunlaşmışlardır (Bucini ve Hanan, 2007). Yapılan çalışmalar, yıllık ortalama yağışların odunsu örtünün gelişimi üzerindeki etkisinde bir üst sınırın varlığını işaret etmektedir (Sankaran vd., 2005). Araştırma sonuçları genellikle yıllık ortalama yağışın 200 ile 700 mm arasında olan bölgelerde yağışın bitki örtüsü oranıyla güçlü bir pozitif korelasyon olduğunu göstermiştir (Gibbes vd., 2014). Ancak, otçullar, besin değerleri, yangınlar ve diğer faktörlerle birlikte değerlendirildiğinde yıllık 700 mm üzerinde yağış durumunda istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmamıştır. Bu durum göz önüne alındığında, diğer tüm faktörler nötr ise yağıştaki değişiklik istilacı bitkilerin yayılmasında etkili olabileceği sonucuna varılmıştır (Sankaran ve Anderson, 2009).

Kurak ve yarı kurak arazilerin yapısının yanında, bazı araştırmalar kritik çevresel faktörlerin rolünün fizyografik gradyanlar boyunca bitki örtüsü büyümesini nasıl etkilediğini de araştırmışlardır (Campo-Bescós vd., 2013). Bu tür araştırmalarda özellikle kurak ve yarı kurak arazilerde bitki örtüsü yeşilliğinin ve dolayısıyla sağlığının bir ölçüsü olarak Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü Fark İndeksi (NDVI) yaygın olarak kullanılmaktadır (Wessels vd., 2006). Bununla birlikte, bu arazilerdeki bitki örtüsünün devingen yapısı bölgeler arasında büyük farklılıklar oluşmasına neden olabilmektedir. Ayrıca, her ülke sınırında farklı arazi politikalarının uygulanması ve arazi sahiplerinin arazi kullanımları arasındaki farklılıklar nedeniyle, fiziki özelliklerin önemi ikinci plana düşmektedir. Bu da arazi örtüsünün sayısallaştırılmasını oldukça zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, odunsu bitkiler ve otsu bitkilerin dağılışı gösterdiği bölgelerde bu iki yaşam formu arasındaki nispi oranları belirleyen faktörler hala belirsizliğini korumaktadır (Blaser vd., 2014).

Belirsizliklere rağmen doğal süreçlerin bölgesel farklılıklarını beşerî yönleri ile anlamak ve arazi kullanım koşullarını ortaya koymak hem araştırmacılar için hem de yerel yönetimler ve arazi paydaşları için oldukça elzem bir konu olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, arazi değişimi üzerinde etkili olan faktörleri kavramak iklim değişikliğinin ve insan kaynaklı arazi örtüsü değişikliğinin gelecekte arazileri nasıl etkileyeceğini tahmin etmenin anahtarı olarak görülmektedir.

Bucini ve Hanna (2007), atmosferdeki karbon miktarını kontrol altında tutarak odunsu-otsu örtü dengesinin korunması için korunan alanlarda kontrollü yangınların rolünün oldukça kritik öneme sahip olduğunu belirtmiştir. Kurak ve yarı kurak alanlardaki ekosistemlerin, özellikle odunsu-otsu bitkilerin ortaklaşa yayılış gösterdiği bölgelerde kontrollü yangınların atmosferik CO₂ emisyonlarının %40'ına neden olduğu göz önüne alındığında, söz konusu ekosistemlerin küresel karbon döngüsündeki önemi daha belirgin hale gelmektedir (Sankaran vd., 2008; Smit ve Asner, 2012).

Tropikal alanlar ve çöller arasındaki geçiş iklimi olarak da kabul gören yarı kurak alanlar hem insan hayatı için hem de doğal yaşam döngüsü için son derece önemli bir ekosistem konumundadırlar. Ayrıca bu bölgeler küresel gıda üretimi ve gıda güvenliğinde de önemli bir rol oynamaktadırlar. Dünya nüfusunun %40'ından fazlası kurak ve yarı kurak alanlarda yaşamaktadır (Sankaran vd., 2008). Özellikle çevresel ve ekonomik yönden oldukça önemli bölgeler olarak kabul gören yarı kurak alanlar tarımsal faaliyetlerin yanı sıra doğal ortam ve yaban hayatı açısından da önemli bir konuma sahiptirler.

Özellikle 20. yüzyılın sonlarından itibaren tarımsal faaliyetler, orman ürünleri, mera hayvancılığı ve kontrolsüz yangınlar gibi nedenlerle insan tarafından artan çevresel baskı, bazı bölgelerde arazi örtüsünü geri dönülemez bir biçimde değişime zorlamıştır. Bunun sonucunda bazı bölgelerde ormanlık alanlarda bitki örtüsü kaybı yaşanırken daha önce bitki örtüsünden yoksun olan bazı bölgelerde ise yeraltı suyu kullanılarak tarımsal faaliyetler ve ağaçlandırma yapıldığı görülmektedir (Moser ve Davidson, 2015). Bu şekilde süregelen bir değişimin sonucu olarak insan, arazi örtüsünü tür ve dağılışını kademeli olarak etkilemeye devam etmektedir. Öte yandan, dünyanın bazı kurak ve yarı kurak bölgelerinde ise bitki örtüsünün tamamen ortadan kaldırılması nedeniyle çölleşmeye neden olmuştur. Bu fenomenler göz önüne alındığında, yerel yönetimler ve paydaşların arazilerden maksimum düzeyde yararlanabilmeleri için kurak ve yarı kurak alanlardaki AKAÖ değişimlerinin nicel olarak değerlendirilmesi oldukça önemlidir.

Kurak ve yarı kurak bir alanda ekolojik dengeyi korumak için en yaygın sürdürülebilirlik yöntemlerinden biri söz konusu bölgeyi Uluslararası Doğayı Koruma Birliği (IUCN)'ne göre milli parklar ve korunan alanlar kategorilerine alıp korumaktır. Korunan alanlar, bazı bölgelerde oldukça kırılğan bir yapıya sahip olan kurak ve yarı kurak alanların flora ve fauna özelliklerinin efektif bir biçimde korunması için tek çözüm olabilir (Child vd., 2004; Hansen ve DeFries, 2007; Ozsahin vd., 2022c). Korunan alanlar içindeki ekolojik dengenin makul seviyede korunması için akarsu, dağ sırtı, ekolojik sınır gibi doğal sınırların dikkate alınması elzemdir (DeFries vd., 2007).

Son zamanlarda yapılan araştırmalarda üstünde durulan bir diğer konu da korunan alanları çevreleyen arazilerin de AKAÖ değişikliklerinin korunan alanlar üzerinde önemli bir etkisi olduğu düşüncesidir. Çünkü korunan alanlar sadece doğal çevre ve yaban hayatını değil, aynı zamanda bu ekosistemde yaşamını sürdüren insanları ve bu insanların sosyo-ekonomik faaliyetlerini de önemli

ölçüde etkiler niteliktedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, zaten oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan yarı kurak alanlara insan faktörü ve sosyo-ekonomik faaliyetler de dahil olunca daha da karmaşık bir yapıya dönüşmektedir. Bu nedenle, yarı kurak ekosistemlerin karmaşıklığını ve bu tür ekosistemlerde arazi örtüsü değişim dinamiklerini kavramak hala önemli bir sorun olarak kalmaya devam etmektedir (Cui vd., 2013).

4.1. Kurak ve Yarı Kurak Ekosistemlerde Çalı İstilasası

Kurak ve yarı kurak bölgelerde en yaygın sorunlardan biri de çalı istilasasıdır (Sankaran ve Anderson, 2009). Çalı istilasası hem doğal nedenlerden hem de antropojenik faaliyetlerden kaynaklı olabilmektedir. Bu konuda yapılan bazı çalışmalar sorunun kurak ve yarı kurak araziler için risk teşkil eder nitelikte olduğunu göstermiştir (Maestre ve Cortina, 2009).

Çalı istilasası zaman serileri ölçeklerinde bazen daimî bir süreç niteliğinde bazen de belli zaman aralıklarında periyodik olarak meydana geldiği gözlemlenmiştir (Eldridge vd., 2011). Van Auken (2009) çalı istilasasını "ekosistemde çalı bitkilerinin yoğunluğu, arazi örtüsü oranı ve biyokütlesindeki artış" olarak tanımlar. Çalı istilasası terimi aynı zamanda çalı işgali, odunsu bitki yoğunluğunun artması ve çalı kaplaması gibi diğer farklı ifadelerle eş anlamlı olarak da kullanılmaktadır. Çalı istilasası kavramı ilk olarak Walter (1954) tarafından ortaya atılmış ve Walker ve Noy-Meir (1982) tarafından genişletilmiştir. Söz konusu çalışmada araştırmacılar çalı istilasası yarı kurak biyomların aşırı otlatılmasına bağlamışlardır. Ancak farklı araştırmalarda çalı istilasası, aşırı otlatmanın yanında yangın ve antropojenik nedenler gibi faaliyetlere de atfedilmiştir (Archer vd., 1995).

Çalı istilasası, dünyanın kurak ve yarı kurak bölgelerinin çoğunda, özellikle de savan ekosistemlerde (Foto 2) oldukça yaygın bir olgudur (Eldridge vd., 2011). Otlatma ve ormansızlaştırma gibi faaliyetlerin bir kombinasyonu nedeniyle vejetasyon yapısındaki bu tür değişiklik 1900'lerin başından beri süregelmiştir (Archer, 2009). Halihazırda, çalı istilasası görülen orman dışı arazilerin Amerika Birleşik Devletleri'nde çoğunlukla yarı kurak batı eyaletlerinde 330 milyon hektarı kapladığı tahmin edilmektedir (Knapp vd., 2008; Pacala vd., 2001). Son yıllarda, Güney Afrika Cumhuriyeti, Zambia, Zimbabve, Mozambik, Bostvana, Angola gibi Afrika kıtasının güneyindeki ülkelerde çalı benzeri bitkiler, çayır ve uzun ağaç örtüsü üzerinde daha baskın hale geldiği tespit edilmiştir. Bu durum, bitki örtüsü dinamiklerinde bir değişiklik meydana getirmekte ve bitki örtüsünün doğal dengesini bozmaktadır (Blaser vd., 2014). Bu şekilde Afrika'nın güneyinde yaklaşık 13 milyon hektar alan çalı istilasına maruz kaldığı sanılmaktadır. Türkiye'de de özellikle Akdeniz iklim bölgesinde maki bitki örtüsünün görüldüğü yarı kurak alanlara karşılık gelen bölgelerin de çalı istilasından etkilendiği bilinmektedir (Baştürk ve Aladağ, 2009). Yarı kurak ekosistemlerde bitki örtüsünün kaybı sonucu çölleşmenin neden olduğu arazi değişiklikleri nedeniyle Türkiye de dahil olmak üzere dünya genelinde iki milyardan fazla insanı etkilediği düşünülmektedir. (Adeel, 2008; Bayar, 2018).



Foto 2. Yarı kurak savan ekosistemi temsilen bir görüntü

Kaynak: www.creativefabrica.com platformunda yapay zekâ teknolojisi kullanılarak üretilmiştir.

Yeryüzünde özellikle yarı kurak savan ekosistemlerde çeşitli akasya türleri de dahil olmak üzere işgalci olarak kabul edilen çok sayıda çalı türü mevcuttur: karaçalı (*Senegalia Mellifera*), akasya (*Vachellia Tortilis*), mavi diken (*Senegalia Erubescens*), brendi (*Grewia Flava*) orak çalısı (*Dichrostachys Cinerea*) salkım yaprağı (*Terminalia Sericea*) ve mopane (*Colophospermum Mopane*) bunlardan başlıcalarıdır (Moleele vd., 2002).

5. Türkiye’de Arazi Değişim Bilimi ve Uygulamaları

Türkiye, coğrafi ve iklim koşulları nedeniyle tarım ve hayvancılık açısından oldukça zengin bir ülkedir. Ancak, son yıllarda artan nüfus, endüstriyel gelişme ve kentleşme gibi faktörler nedeniyle arazi değişikliği sorunları ile karşı karşıya kalınmaktadır. Hızla artan nüfus ve yoğun ekonomik faaliyetlerin sonucu olarak plansız kentleşme ve yetersiz arazi yönetimi uygulamaları görülmektedir. Özellikle büyük şehirlerdeki hızlı kentleşme tarım alanlarının ve yeşil alanların kaybedilmesine neden olmaktadır. Bunun sonucunda, toprak verimliliği düşmekte ve çevre sorunları artmaktadır. Her ne kadar Türkiye’de arazi kullanımı (Ayten, 2007; Özdeş vd., 2019; Sönmez, 2011; Turan vd., 2021; Uzun ve Somuncu, 2013), arazi örtüsü değişikliği (Türkeş, 2012), tarımsal alanlarda arazi değişimleri (Bayar, 2018; Ozsahin vd., 2022b) tarımsal alanlarda bozuk drenaj sorunları (Ozsahin vd., 2022a), şehirsal alanlarda mekânsal değişimler (Özdeş, 2019), sürdürülebilir arazi kullanımı (Gümüş ve Durduran, 2020), turizm amaçlı arazi kullanımı (Turoğlu ve Özdemir, 2005), bitki formasyonlarının dağılışları (Avcı, 2004) gibi farklı türden arazi değişimleri ile ilgili pek çok çalışma yapılmış olsa da bu çalışmalar genellikle farklı bilim dalları adı altında yapılmakta ve birbirinden bağımsız çalışmalar gibi algılanmaktadır. Oysa metod ve temalarda yer yer farklılıklar arz etse bile farklı bilim dalları altında arazi örtüsü ve arazi kullanım değişiklikleri olarak yapılan bu çalışmalar, temel itibari ile arazi değişim bilimi çalışmalarıdır. Çünkü

temelde disiplinlerarası bir bilim olan arazi değişim biliminin özünde ‘insan’, ‘mekân’ ve ‘değişim’ kavramları yer almaktadır. Bu nedenle arazi değişim biliminin farklı gibi algılanan bütün bu çalışmaların ortak noktasını oluşturduğunu ifade etmek yerinde olacaktır.

Türkiye’de 5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanım Planlaması Yasası ile arazi kullanımı hukuki düzeyde belli kriterlere bağlanmıştır. Söz konusu kanunun 10. Maddesinde, tarım arazilerinin, arazi kullanım plânlarında belirtilen amaçları dışında kullanılmayacağı, 11. Maddesinde, arazi paydaşları ve arazi kullanıcılarının hazırlanan plân ve projelere uymakla yükümlü olduğu bildirilmiştir (Erkan vd., 2011). Aynı kanunun diğer maddelerinde de tarımsal arazi kullanımlarında tarımsal amaçlı arazi kullanım plân ve projelerine uyulması gerektiği, tarım dışı arazi kullanımlarında ise toprak koruma projeleri kapsamında değerlendirilmesinin zorunlu olduğu belirtilmiştir.

Arazi kullanım plânlarında tarım amaçlı ayrılmış olan arazilerde izinsiz olarak yapılmış/yapılacak bütün yapıların tasviye edileceği hükmü yer almaktadır. 1998 yılında 4340 sayılı yasa ile kabul edilmiş Toprak Koruma ve Arazi Kullanım Planlaması Kanunu 2005 yılında yürürlüğe konulmuştur. Ancak, akabinde güçlü bir denetim mekanizması olmaması nedeniyle hatalı arazi kullanımından kaynaklanan sorunların önüne geçilememiş ve günümüze kadar sürdürülebilir arazi yönetimi konusunda ciddi tedbirler ve denetimler yapılamamıştır. Böylece, her ne kadar yanlış arazi kullanımı nedeniyle arazi değişimi kanunla regüle edilmiş olsa da pratikte hatalı arazi kullanımı nedeniyle arazi değişimleri ve verimli arazilerin kaybı süregelmektedir.

Türkiye'deki doğal ekosistemler üzerinde tehdit oluşturan en önemli faktörlerden birinin habitat ve arazi kullanım değişiklikleri olduğu söylenebilir. Bu değişiklikler, doğal orman alanlarının azalmasına ve tahribatına neden olmaktadır. Bu da türlerin yaşam alanlarının kaybına ve endemik nesillerinin tehlikeye girmesine yol açabilmektedir (Tolunay, 2021).

Orman Genel Müdürlüğü'nün verilerine göre (Çizelge 1), ülkemizdeki orman alanları son 40 yılda artış eğilimindedir (OGM, 2020). Ancak orman alanlarında orman dışı faaliyetler için verilen izinler de sürekli olarak çeşitlenmeye ve artmaya devam etmektedir (Foto 3). İzinler, en fazla 49 yıl "kamu yararı" adına verilmekte ve daha sonra yeniden ağaçlandırılacağı kabul edilmektedir. OGM tarafından yayınlanan orman verileri, sadece gerçek orman verilerini değil, yasal olarak orman olarak kabul edilen alanları da içermektedir (Tolunay, 2021).

Öte yandan, Orman alanı değerleri, Ulusal Sera Gazı Envanterinde ve Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından CORINE arazi sınıflandırmasına göre uydu görüntüleri kullanılarak yapılan çalışmalardan farklılık arz etmektedir. OGM verilerinde orman alanlarında sürekli bir artış gözlemlenirken CORINE sistemine göre (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021) toplam orman alanında bir azalma görülmektedir (Çizelge 2). Ancak, karşılaştırma yapılırken bu iki değer arasında, kapsama süresi bakımından farklılıklar olduğu da göz önünde bulundurulmalıdır. Söz gelimi, OGM verisi 1973-2020 yıllarını kapsarken CORINE Verisi 1990-2018 yıllarını kapsamaktadır.

Çizelge 1. OGM (2020)'ye göre Türkiye toplam orman örtüsü

Yıllar	Verimli orman alanı (ha)	Boşluklu orman (ha)	Toplam orman alanı (ha)
1973	8.856.457	11.342.839	20.199.296
1999	10.027.568	10.735.680	20.763.248
2005	10.621.221	10.567.526	21.188.747
2010	11.202.837	10.334.254	21.537.091
2015	12.704.148	9.638.787	22.342.935
2020	13.264.429	9.668.571	22.933.000
2020-1973 fark	4.407.972	-1.674.268	2.733.704

Kaynak: Tolunay, 2021'den değiştirilerek hazırlanmıştır.

Çizelge 2. CORINE sistemine göre Türkiye toplam orman örtüsü

Yıllar	Verimli orman alanı (ha)	Boşluklu orman (ha)	Toplam orman alanı (ha)
1990	11.713.054	8.718.381	20.431.435
2000	12.200.373	8.387.132	20.587.505
2006	11.638.447	8.645.094	20.283.540
2012	11.621.447	8.756.889	20.378.336
2018	11.525.788	8.829.149	20.354.937
2018-1990 fark	-187.266	110.768	-76.498

Kaynak: Tolunay, 2021'den değiştirilerek hazırlanmıştır.

Türkiye'de özellikle son yıllarda inşaat odaklı kalkınma politikaları, taş, mıdır, beton gibi hammadde üretimini arttırmış ve doğal alanların tahribatına neden olmuştur. Ayrıca enerji üretimi için yapılan kömür, Hidroelektrik Santralleri (HES) Rüzgâr Enerjisi Santralleri (RES) Güneş Enerjisi Santralleri (GES), nükleer santrallerin ve bunların iletim hatlarının ormanlar başta olmak üzere doğal alanlara inşa edilmesi de çevre tahribatı sorunlarına yol açmaktadır (Tolunay, 2021).

Binyıl Ekosistem Değerlendirme raporu (Millennium Ecosystem Assessment, 2005)'na göre bu santrallerin kurulum alanlarının ön hazırlıkları uygun bir şekilde yapılmadığında doğal arazilerin ve biyolojik çeşitliliğin geri dönülemez şekilde kaybına neden olan önemli faktörler olarak karşımıza çıkmaktadırlar (Albayrak, 2012). Raporda, habitat değişimi, iklim değişikliği, istilacı yabancı türler, aşırı kullanım ve kirlilik gibi faktörlerin doğrudan; demografik, ekonomik, sosyo-politik, kültürel ve dini, bilimsel ve teknolojik faktörlerin de dolaylı olarak bu konuda etkili olduğu belirtilmektedir. Ayrıca raporda Türkiye'deki doğal alanların çeşitli yatırım projeleri ve kentleşme baskısı altında olduğu da vurgulanmaktadır.



Foto 3. Trakya'da bir kömür madeni sahası (Nisan 2019). Ülkemizde maden çıkarılan sahalarda genellikle kederine terk edilmekte ve yeniden ağaçlandırma çalışmaları ihmal edilmektedir.

Kuşkusuz, Türkiye'de arazi kullanımı ve arazi değişimi sorunlarının çözümü için birtakım önlemler alınması gerekmektedir. Bunların arasında, arazi kullanım planlarının oluşturulması, arazi kullanımı ve arazi değişimi konusunda kamuoyu bilincinin artırılması, çevre koruma çalışmalarının sıklaştırılması ve tarım arazilerinin korunması gibi tedbirler yer almaktadır. Bunların yanı sıra, en elzem tedbirler arasında yerel yönetimlerin etkin bir şekilde arazi yönetim ve denetim uygulamalarını yapması gerekmektedir. Neticede, Türkiye'de arazi değişimi ve arazi kullanımı sorunlarına kişi veya kurumların münferit çabaları ile kısa sürede çözüm üretmeleri pek mümkün değildir. Bu sorunların çözümü için tüm paydaşların iş birliği yapması ve uzun vadeli planlanmış çözümler üretmesi gerekmektedir.

6. Arazi Değişim Biliminin Zorlukları ve Limitasyonları

Arazi değişim bilminde gerek teknolojik ve sosyo-kültürel farklılıklar açısından ve gerekse bu süreçleri entegre etmede farklı disiplinlerin farklı yöntemler kullanmasından ötürü verilerin entegrasyonu, metodolojisi ve analitiği bakımından çeşitli zorluklarla karşı karşıya kalınmaktadır (Rindfuss vd., 2004). Arazi örtüsündeki değişimlerin yalnızca *neden* ve *nasıl* değiştiği değil aynı zamanda bu değişimin *ne zaman* ve *nerede* gerçekleştiği sorularının da cevaplanması gerekmektedir. Bu zaman-mekân dinamiği ise dinamik insan faktörü ile birleşince ölçeklendirme sorunları ile karşılaşılması kaçınılmazdır (Song vd., 2018). Ölçeklendirmede kullanılacak yöntemin tutarlı ve güvenilir sayılabilmesi için veride belirli bir standart ölçek veya çözünürlük (hücre-piksel, hane, parsel, yerel yönetim sınırı vb.) kullanılması gerekmektedir (Rindfuss vd., 2012). Arazi parsellerinin değişimi, mülkiyet haklarının değişimi, icar, imar değişikliği gibi faktörler ölçeklendirmede başlıca dinamik faktörlerdendir.

Arazi kullanımında sıkça karşılaşılan problemlerden biri de aynı arazilerin zaman içerisinde tarım, mera, rekreasyon, gibi farklı şekillerde kullanımınıdır (Brown vd., 2000). Bununla birlikte, bazı arazi birimleri aynı anda farklı amaçlar için de kullanılmaktadır. Örneğin, yeryüzünde birçok bölgede arazi sahipleri arazilerini aynı anda hem geçimleri için hem de ticari amaçla kullanmaktadırlar. Ek olarak,

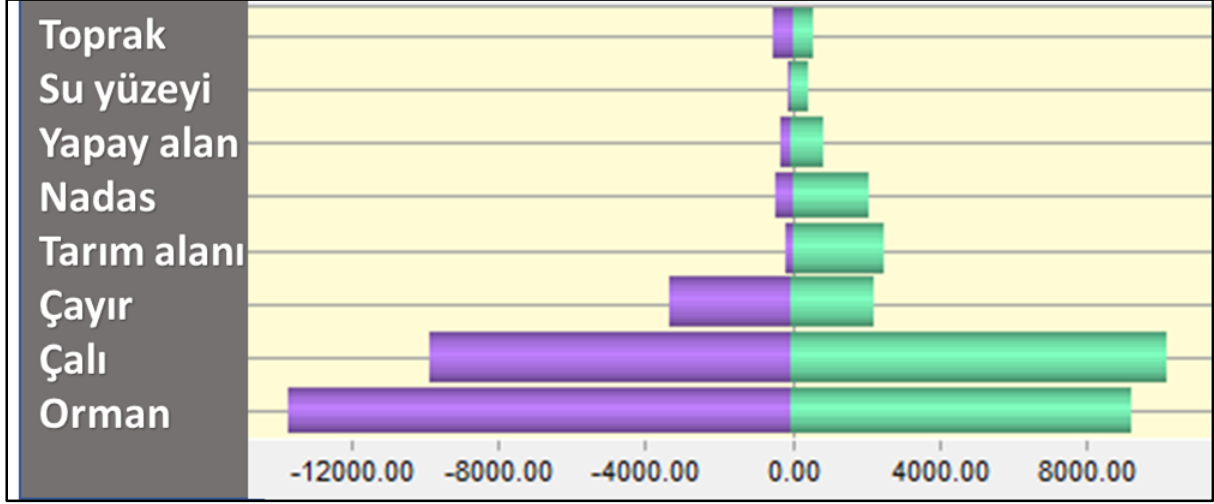
bazı araziler zaman zaman icara verilmekte veya bazı çok hisseli arazi parçaları yılın belli mevsimlerinde farklı kullanıcılar tarafından işletilmektedir. Bu durum ise zaman-mekân ilişkilerinin ötesinde daha karmaşık bir ölçeklendirme ve yorumlama sorunsalına neden olmaktadır. Ayrıca, UA verileri piksel tabanlı mekânsal veri sağlarken, arazi parselleri tipik olarak hane bazlıdır. Bu nedenle, arazi parsellerinin sınırları genellikle UA verilerinin pikselleriyle eşleşmemektedir. Bunların dışında, arazinin bazı bölümlerine ulaşamadığı durumlarda çalışma alanı küçültülebilmekte veya veri elde edilemeyen alanlar çalışma alanı dışında tutularak yanlış sonuçlara yol açabilmektedir (Rounsevell vd., 2012). Arazi sınıf verileri, yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden çıkarımla elde edilebilir, ancak yalnızca bu verilere dayanan çalışmalar hataya düşebilmektedir. Bunun tipik sebepleri arasında, arazinin uydu görüntülerinin zaman zaman yanlış yorumlanabilmesi ve görüntü verilerinin eksiklikler içermesi veya güncel olmaması olabilir (Foto 4).



Foto 4. Kafue Ulusal Parkı (Zambiya)'nda yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsünden ne tür bir arazi örtüsü olduğu kestirilemeyen bir volkanik kayalık (solda) ve mevsim farkından dolayı rengi sarardığından cinsi anlaşılamayan bitki örtüsünün arazi çalışması esnasındaki tasnifi (Mayıs – Temmuz 2015).

Arazi parsel kontrolü, yerel yönetim ve parsel düzeyinde karmaşık olsa da UA verileri ile piksel bazlı kontrol ve sınıflandırma kolaylıkla yapılabilmektedir. Bu da araziye girmeden arazi ölçümlerinin uzaktan yapılmasına olanak tanımaktadır. Ayrıca, piksel bazlı sınıflandırmada bir pikselin zaman içinde bir arazi sınıfından diğerine dönüşümünü de sayısal olarak belirlemek mümkündür (Şekil 5). Yerel düzeyde yapılan sosyo-kültürel çalışmalarda parsel-piksel bağlantısı genellikle belirsiz bir alan olarak

görülmektedir (Brown vd., 2000). Ancak, arazi değişim biliminde meta-analizler yapılmaya başlanmış olsa da bu tür çalışmalarda hangi yöntemlerin daha etkili olduğu veya hangi yöntemlerin fayda sağladığı konusunda kesin bir yargıya varmak için bu alanda henüz yeterli çalışma olmadığını belirtmek gerekmektedir.



Şekil 5. Bir korunan alanda 1987 ile 2015 yılları arasında arazi sınıflarındaki km² bazında kazanım ve kayıplar

Kaynak: Ozdes, 2017'den değiştirilerek hazırlanmıştır.

AKAÖ değişikliklerinin karşılaştığı problemlerin çok boyutlu olarak irdelenerek metodolojik, analitik ve veri sorunlarının bir bütün halinde ele alınması gereklidir. Yukarıda bahsedilen bütün bu sorunlar arazi değişim bilimi ile ilişkilendirilen farklı disiplinlerde farklı metotlarla ele alınmış olmakla birlikte bunları arazi değişim bilimi çatısı altında bütüncül bir yaklaşımla ele alıp inceleyen çalışmaların sayısı oldukça azdır. Oysa temelde insan- (sosyo-ekonomik) -mekân (fiziki çevre) -değişim (zaman) üçgeninde arazi değişimlerinin UA ve CBS teknikleri ile analiz edilip incelenmesi gerekmektedir. Hangi disiplin ile bağlantılı olursa olsun, Arazi Değişim Bilimi çalışmaları temelde arazi kullanım sorunları, veri ve ölçek sorunları ile arazileri birbirine bağlayan piksel bağlantıları gibi temel problemlere çözüm arayan çalışmalardır (Rindfuss vd., 2004). Bu sorunlardan bazılarının çözümü yerel ölçekte yapılan çalışmalarla mümkün olurken bazıları ise global ölçekte kapsamlı araştırmalar ve çok yönlü analitik çalışmalar gerektirmektedir. Bu şekilde bütüncül bir yaklaşımla AKAÖ değişimlerinin anlaşılmasını hedefleyen bir disiplinlerarası alan olarak arazi değişim bilimi kapsayıcı bir kaynak olarak değerlendirmelidir (Rounsevell vd., 2012).

7. Sonuç

Kurak ve nemli tropikal ekosistemler arasında kalan yarı kurak geçiş bölgeleri, çok çeşitli faunayı desteklemekte ve dolayısıyla hem doğal habitatlar hem de insan popülasyonları için önemli ekonomik ve ekolojik değer sağlamaktadır. Ancak bu bölgelerdeki habitatlar, çevresel ve sosyo-ekonomik değerleri açısından yeterince önemsenmemektedir. Son yüzyılda, yer gözlem sistemlerindeki gelişmeler kurak ve yarı kurak arazi sistemleri üzerine yapılan araştırmaların artmasına yol açmış, ancak bu ekosistemlerin temel yapısal ve işlevsel özellikleri üzerine yapılan çalışmalar sınırlı kalmıştır.

Arazi sistemlerinde yeni oluşum ve değişimleri gözlemlemek ve niceliksel olarak sınıflandırmak için kullanılan geleneksel tekniklerin yüksek maliyetleri nedeniyle sınırlayıcı olduğu bilinmektedir. Ayrıca UA verisinde yetersiz spektral, radyometrik, zamansal ve mekânsal çözünürlükler, bulutluluk, sensör hataları ve verileri doğrulamak için gereken kapsamlı saha çalışmasının da sınırlamaları mevcuttur. Öte yandan, MODIS, Sentinel ve Landsat gibi küresel ölçekte yer gözlemi yapan uydu teknolojileri, dünya genelinde çeşitli çözünürlüklerde sürekli olarak nitelikli veri toplamaya devam etmektedirler. Günümüzde minimum maliyetle elde edilebilen düşük, orta ve yüksek çözünürlüklü uydu verileri, analizlerin kapsamını küçük ölçekli yerel araştırmalardan bölgesel ve küresel çalışmalara doğru genişletmiştir. Özellikle küresel ölçekte diğer klasik mekânsal istatistik yöntemlerinin sınırlı kaldığı durumlarda son zamanlarda araştırmacıların güvenini kazanan yöntemler bu verileri sınıflandırarak bilgiye dönüştürmek için devreye girmektedir. Makine öğrenmesi tabanlı arazi sınıflandırma teknikleri de dahil olmak üzere sofistike analitik metotlar bu alanda oldukça önemli gelişmeler sağlamıştır. Makine öğrenmesi ile yüksek miktarda bölgesel ve küresel çapta veriyi daha kısa sürelerde işleyerek zaman ve iş gücünden tasarruf sağlanmaktadır. Aynı zamanda, bu yöntemlerle daha yüksek hassasiyet oranları ile arazi sınıflandırmaları yapılabilmektedir.

Halen birçok kısıtlama mevcut olsa da UA tabanlı sensörlerin arazi gözlem kapasitesi oldukça umut vericidir. Ayrıca, sürekli artarak devam eden çalışmalar, mevcut uydu verisini kullanarak küresel çevresel değişim ve iklim değişikliği bağlamında gelecekteki AKAÖ değişikliklerini daha hassas bir şekilde tahmin etmeye odaklanmışlardır. Bu alanda dünya çapında AKAÖ değişikliklerini daha iyi tahmin etmek ve değerlendirmek için araştırmacılar, sensör çeşitliliğini ve görüntü kalitesini iyileştirmek için de uydu ve donanımsal araştırmalara devam etmektedirler. UA teknolojisi kuşkusuz mekânsal ve ekolojik bilgimizi geliştirmiş ve coğrafya, biyoloji, çevre bilimleri gibi ilgili disiplinler arası bağlantılar için yeni fırsatlar yaratmıştır.

Arazi değişim bilimi uluslararası literatürde artık yerini almış bir disiplin olmasına rağmen Türkçe literatüre henüz yerleşmemiş olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, çoğunlukla kurak ve yarı kurak bir iklime ve dirençsiz, kırılabilir bir bitki örtüsüne sahip olan Anadolu coğrafyasını böylesine ilgilendiren bir bilimsel alanda, Türkçe literatürün oluşturulması ve geliştirilmesi oldukça önemlidir. Sonuç olarak, bu çalışmasının, arazi değişim bilimi alanında yapılacak yeni çalışmalara rehberlik etmesi, 'arazi değişim bilimi' kavramının Türkiye'de de yaygınlaşmasına katkı sağlaması ve eğitim kurumlarında disiplinlerarası bir bilim dalı olarak kabul görmesine yardımcı olması beklenmektedir.

Teşekkür ve Bilgilendirme

Değerli geri bildirimleri ve yorumları ile bu çalışmanın kalitesinin artmasında önemli bir rol oynayan editör ve hakemlere en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, bu araştırma boyunca desteğini esirgemeyen değerli doktora danışmanım Jane Southworth'a minnettarım. Onun 'arazi değişim bilimi' konusundaki rehberliği, bu çalışmanın yönünü şekillendirmede çok değerli olmuştur. Meslektaşlarım ve aile üyelerimin sağladığı destek için de ayrıca teşekkür etmek isterim. Onların sabır, teşvik ve anlayışlarının yeri doldurulamaz. Ülkemizde arazi değişim bilimi alanında bir ilki temsil eden bu araştırmamın başarıya ulaşmasında emeği geçen herkese yürekten şükranlarımı sunuyorum.



The Emergence of Land Change Science in the Context of Global Climate Change and Environmental Transformations: Land Change in Arid and Semi-Arid Ecosystems

Mehmet Özdeş*^a

Submitted: 03.11.2022

Accepted: 23.06.2023

EXTENDED ABSTRACT

1. Land Change Science: Definitions, Scope, and Objectives

Due to the global population increase, the growing consumption demands are causing irreversible changes in the Earth's natural environment, affecting the hydrosphere, biosphere, and atmosphere (Cleland, 2013). Land Change Science, also known as land system science, studies the conflict between human and environmental systems, investigating whether land-use activities harm ecosystem services, human well-being, and long-term sustainability (Turner et al., 2007, 2016).

Initially, Land Change Science emerged as an integrated human-environment system science. Efforts to emphasize the importance of human involvement in the global environment led to a focus on land use and land cover change studies (Turner et al., 1990). NASA's Land Cover and Land Use Change (LCLUC) program played a significant role in shaping the field (Justice et al., 2015).

Land Change Science aims to continuously observe and understand global land changes, model them in different ways, and evaluate their implications for land management and policies, including vulnerability, resilience, and sustainability (Rindfuss et al., 2004). It utilizes Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS) technologies for data analysis while studying land observation, resistance, and adaptation strategies (Meyfroidt et al., 2022). Due to its interdisciplinary nature, Land Change Science requires evaluation as a distinguishing interdisciplinary branch of science (Figure 1).

Land use refers to how humans alter the environment for their benefit, while land cover represents the state of land (vegetated and non-vegetated) in a given area (De Chazal and Rounsevell, 2009). Understanding these concepts is essential for effective land management and policy decisions.

* Corresponding Author: mozdes@nku.edu.tr

^a Tekirdag Namik Kemal University, Environmental Engineering, Tekirdag/Türkiye, <https://orcid.org/0000-0003-3538-8861>

Land Change Science is an interdisciplinary field that emerged in the early 21st century, focusing on studying land-cover and land-use changes in the context of environmental and climate changes. It integrates human-environment interactions using geographic information, remote sensing, and GIS. Its main objective is to address environmental and socio-economic problems and practical methodologies related to land change. However, In Turkiye, research in this area is scarce. This study aims to provide a comprehensive overview of current knowledge and research status of Land Change Science in the Turkiye and other parts of the word where arid and semi-arid climate conditions are present.

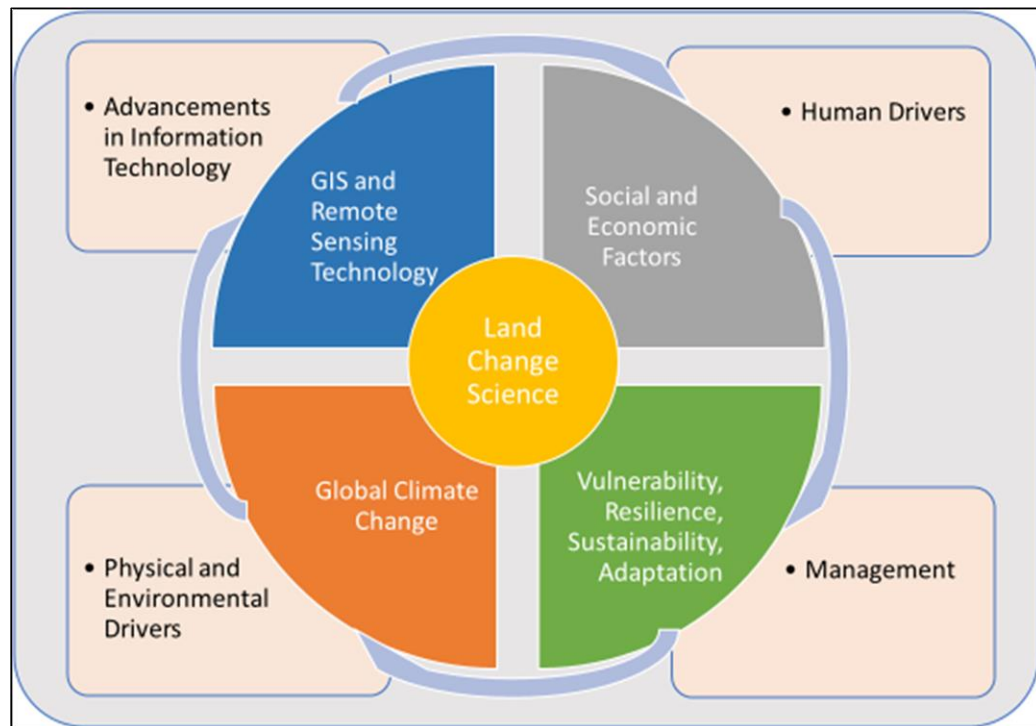


Figure 1. The fundamental factors and concepts interacting with Land Change Science
Resource: Adapted from Ozdes and Southworth, 2023.

2. Interaction between Land Change Science and Climate Change

Increasing impacts of climate change on ecology, society, economy, and politics in the 21st century (Dale, 1997) raises concerns about biodiversity, agriculture, migration, and ecosystems. Environmental and climate changes intertwine as global challenges (Ford et al., 2012). Extensive research examines land-use activities and human-induced climate change and their complex interplay. Climate change affects land use through altered landscapes due to climate influences. Understanding these environmental changes sheds light on multidimensional effects of climate change on natural systems. Regional climate variations pose challenges in predicting precise outcomes. Nonetheless, identifying climate-sensitive biomes remains plausible through classification schemes such as Holdridge (1967).

Climate change triggers gradual shifts in natural vegetation over extended periods, influencing factors such as temperature, air circulation, and water resources, which ultimately impact plant growth and nutrient cycling (Malhi et al., 2021). Furthermore, altered species distributions can disrupt food chains, leading to variable plant productivity across regions. Although animals adapt through genetic diversity and migration, predicting responses to changing conditions remains challenging, potentially intensifying species competition.

The impact of climate change on agriculture is substantial, with cereal crops, vital for human consumption, particularly susceptible. Research on climate effects is burgeoning in major cereal-producing countries such as India, Nepal, China, and Thailand (Arunrat et al., 2020; Khanal et al., 2018; Singh et al., 2017; Wang and Hijmans, 2019). Coastal regions, home to dense populations, confront rising sea levels and salinity, impacting water resources (Uddin et al., 2019).

IPCC projections warn of rising greenhouse gases causing sea-level rise, intensified storms, and droughts (Chokkavarapu and Mandla, 2019). Hydrological changes are evaluated using climate models, stressing water resource preservation for biodiversity and agriculture (Aküzüm et al., 2010). Anthropogenic land cover changes disrupt ecosystems as a whole (Cui et al., 2021).

Climate projections of Türkiye signal temperature spikes in the Aegean region and reduced rainfall in the Fırat and Dicle river basins (Önol et al., 2011). Vulnerability to climate change depends on both direct hazards and system resilience (Berkes, 2007). Earth system models investigate complex processes underlying climate elements.

Effective climate policies and mitigation strategies are pivotal to ensure human-environment sustainability in near future (Bonan and Doney, 2018). While mitigating greenhouse gas emissions is essential, interventions must consider diverse ecosystem effects as well (Betts et al., 2004). Maintaining human-environment relationships requires resource preservation and sustainable use of natural resources (Walker et al., 1999).

3. Developments in Geographic Information Systems and Remote Sensing Techniques

GIS and RS have revolutionized environmental monitoring since the second half of the 20th century. Over the past sixty years, they enabled quantitative assessment of global forest cover changes, revealing a net loss of -101 million hectares (-2.4%) from 2000 to 2020 (Potapov et al., 2022). RS technology, despite limitations, shows potential with increasing high-resolution satellite data availability (Hansen et al., 2013). Strengthening the link between RS, GIS, and Land Change Science is essential to integrate spatial ecological research with human factors (Chambers et al., 2007).

Land Change Science explores drivers such as anthropogenic changes in climate and environmental shifts (Turner et al., 2007). Since the industrial revolution, human activities have

accelerated land change, mainly deforestation, agricultural expansion, urbanization, and afforestation as well (Dale, 1997; De Chazal and Rounsevell, 2009). Earth observation satellites such as Landsat have provided insights into forest cover changes globally, revealing a surprising 7.1% increase in global forest area from 1982 to 2016 (Song et al., 2018).

Advances in GIS, particularly machine learning, have expedited Land Change Science, facilitating rapid and accurate analysis of RS data (Özdeş and Southworth, 2023). Machine learning algorithms such as Support Vector Machines, Artificial Neural Networks, Decision Trees, and Random Forests play vital roles in satellite image classification and land cover mapping (Abdi, 2020; Chaturvedi and Vries, 2021). These methods enhance accurate urban area detection and comprehensive land cover mapping from satellite imagery. Integrating these techniques fosters deeper understanding of landscape systems, their interactions, and climate responses, crucial for supervised decision-making in land change studies.

4. Land Structure and Land Changes in Arid and Semi-Arid Ecosystems

Arid and semi-arid regions (Figure 2), acting as transitional zones between deserts and tropical areas, are crucial for global food production and human habitation (Sankaran et al., 2008). Climate change impacts and shifting land use in these regions are evident (Sankaran et al., 2005). Researchers have analyzed the intricate relationships of woody plants with environmental factors (Bucini and Hanan, 2007). It is indicated that precipitation influences vegetation dynamics, with noted upper limits on woody vegetation development (Gibbes et al., 2014; Sankaran et al., 2005).

Conservation efforts in protected areas not only preserve habitats but also affect socio-economic aspects. Shrub invasion is a common issue caused by natural and anthropogenic factors, posing significant risks in semi-arid regions (Maestre and Cortina, 2009). This phenomenon occurs continuously or periodically (Eldridge et al., 2011), impacting ecosystems worldwide (Blaser et al., 2014). Mediterranean regions also experience shrub invasion (Baştürk and Aladağ, 2009). This phenomenon, driven by invasive species (Moleele et al., 2002), has far-reaching consequences, affecting over two billion people globally (Archer, 2009).



Figure 2. An image representing semi-arid ecosystems.

Resource: Generated using artificial intelligence technology on the www.creativefabrica.com platform

5. Land Change Science and its Applications in Turkiye

Turkiye's favorable geography and climate yield rich agricultural and livestock potential. However, increasing population, industrialization, and urbanization are causing land use change challenges. Unplanned urbanization, driven by rapid population growth and economic activities, particularly in major cities, results in agricultural and green space loss and environmental issues (Ayten, 2007; Özdeş et al., 2019). Despite diverse studies exploring various land use change aspects in Turkiye, they are often perceived as isolated efforts across disciplines. Yet, they fundamentally align with Land Change Science focus on "human," "space," and "change" interactions (Turan et al., 2021). Enforcement challenges impede effective sustainable land management despite regulations such as the Land Conservation and Land Use Planning Law (Erkan et al., 2011; Law No. 5403). Land and habitat use changes endanger Turkiye's ecosystems, causing deforestation and species decline (Tolunay, 2021). While the Forest General Directorate reports forest area growth, permissions for non-forest activities rise in Turkiye (OGM, 2020). Thus, adopting comprehensive interdisciplinary approaches is vital to address these challenges and ensure sustainable land use practices (Turan et al., 2021).

6. Challenges and Limitations of Land Change Science

In Land Change Science, the integration of data, methodology, and analysis faces challenges due to technological and socio-cultural diversity, as well as varied methods employed by different disciplines (Rindfuss et al., 2004). Understanding changes in land cover requires answering 'why', 'how', 'when', and 'where' changes occur. The temporal-spatial dynamics, coupled with the human factor, lead to scaling issues and complexity in land use (Song et al., 2018). To ensure consistent scaling, standardized scales or resolutions are essential (Rindfuss et al., 2012). Land parcel changes, property

rights shifts, and land-use variations are scaling determinants. Additionally, the simultaneous use of lands for different purposes over time is problematic in terms of scaling (Brown et al., 2000). While high-resolution satellite images provide pixel-based spatial information, land parcels are household-based, leading to boundary misalignments (Rounsevell et al., 2012). A comprehensive approach is needed for Land Change Science which addresses land use issues, data problems, and pixel connections across disciplines (Rindfuss et al., 2004). It is crucial to assess methodologies for effective solutions (Brown et al., 2000) and to recognize the role of Land Change Science in understanding land-use challenges (Rounsevell et al., 2012).

7. Conclusion

Semi-arid transition zones, located between arid and humid tropical ecosystems, hold ecological and economic significance for diverse fauna and human populations. Despite recent advancements in Earth observation, studies on the fundamental characteristics of these regions remain limited. Traditional techniques for observing and classifying land changes are cost-prohibitive. Spectral, temporal, and spatial resolution limitations, sensor errors, and validation requirements hinder the quality of remote sensing data. However, satellite technologies such as MODIS, Sentinel, and Landsat continue to provide data at various temporal, spatial resolutions, and scales. Machine learning-based land classification techniques have shown promise, enabling efficient processing of large datasets and increased accuracy. Despite challenges, UA-based sensors show potential for land observation in arid and semi-arid ecosystems like those in Turkey. Ongoing efforts aim to enhance sensor diversity and image quality for better predictions of future land changes. Despite Turkey mostly having a vulnerable semi-arid climate, literature in this research area is limited. Establishing Turkish literature in this field is a crucial endeavor, as UA technology creates interdisciplinary opportunities in geography, biology, and environmental sciences worldwide.

Referanslar/References

- Abdi, A. M. (2020). Land cover and land use classification performance of machine learning algorithms in a boreal landscape using Sentinel-2 data. *GIScience & Remote Sensing*, 57 (1), 1-20. doi: 10.1080/15481603.2019.1650447
- Adeel, Z. (2008). Findings of the Global Desertification Assessment by the Millennium Ecosystem Assessment – A Perspective for Better Managing Scientific Knowledge. In C. Lee, T. Schaaf (Eds.), *The Future of Drylands*. International Scientific Conference on Desertification and Drylands Research Tunisia, Tunisia, 19-21 June 2006 (pp. 677–685). *Dordrecht: Springer* Netherlands. doi:10.1007/978-1-4020-6970-3_57
- Aküzüm, T., Çakmak, B., Gökalp, Z. (2010). Türkiye’de su kaynakları yönetiminin değerlendirilmesi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, (1), 67-74. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tabad/issue/34782/385073> adresinden edinilmiştir.
- Akpoti, K., Kobo-bah, A. T., Zwart, S. J. (2019). Agricultural land suitability analysis: State-of-the-art and outlooks for integration of climate change analysis. *Agricultural systems*, 173, 172-208. doi: 10.1016/j.agsy.2019.02.013
- Archer, S. (2009). Rangeland Conservation and Shrub Encroachment: New Perspectives on an Old Problem. In *Wild Rangelands* (pp. 53–97). *John Wiley & Sons*. doi:10.1002/9781444317091.ch4
- Archer, S., Schimel, D. S., Holland, E. A. (1995). Mechanisms of shrubland expansion: land use, climate or CO₂? *Climatic Change*, 29 (1), 91–99. doi:10.1007/BF01091640
- Ardabili, S., Mosavi, A., Dehghani, M., Várkonyi-Kóczy, A. R. (2019). Deep learning and machine learning in hydrological processes climate change and earth systems a systematic review. *International Conference On Global Research And Education* (pp. 52-62). Springer, Cham.
- Arunrat N, Pumijumong N, Sereenonchai S, Chareonwong U, Wang C (2020) Assessment of climate change impact on rice yield and water footprint of large-scale and individual farming in Thailand. *Science of The Total Environ* 726:137864.

doi:10.1016/j.scitotenv.2020.137864

- Avcı, M. (2004). Ormangülleri (Rhododendron L.) ve Türkiye'deki doğal yayılışları. *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi*, 12, 13-29. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iucografya/issue/25061/264573> adresinden edinilmiştir.
- Ayten, E. (2007). Türkiye'de arazi kullanımı ve havza yaklaşımı. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2 (1), 21-25. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sduzfd/issue/50298/317612> adresinden edinilmiştir.
- Barber, C. (2019). Monitoring Land Change with USGS LCMAP Science Products. *AGU Fall Meeting Abstracts* (pp. B24A-07). <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019AGUFM.B24A..07B/abstract> adresinden edinilmiştir.
- Baştürk, K., Aladağ, C. (2009). Maki ve Garig topluluklarının Türkiye'deki yayılış alanları ve ekolojik özelliklerinin incelenmesi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (22), 67-80. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/susbed/issue/61799/924419> adresinden edinilmiştir.
- Bayar, R. (2018). Arazi kullanımı açısından Türkiye'de tarım alanlarının değişimi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 16 (2), 187-200. doi: 10.1501/Cogbil_0000000197
- Berkes, F. (2007). Understanding uncertainty and reducing vulnerability: lessons from resilience thinking. *Natural Hazards*, 41 (2), 283-295. doi: 10.1007/s11069-006-9036-7
- Berkes, F., Folke, C., Colding, J. (Eds.). (2000). *Linking Social and Ecological Systems: Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience*. New York: Cambridge University Press.
- Betts, R. A., Cox, P. M., Collins, M., Harris, P. P., Huntingford, C., Jones, C. D. (2004). The role of ecosystem-atmosphere interactions in simulated Amazonian precipitation decrease and forest dieback under global climate warming. *Theoretical and Applied Climatology*, 78 (1), 157-175. doi: 10.1007/s00704-004-0050-y
- Biggs, H. C. (2003). *The Kruger Experience: Ecology and Management of Savanna Heterogeneity*. Island Press.
- Blaser, W. J., Shanungu, G. K., Edwards, P. J., Olde Venterink, H. (2014). Woody encroachment reduces nutrient limitation and promotes soil carbon sequestration. *Ecology and Evolution*, 4 (8), 1423-1438. doi:10.1002/ece3.1024 187
- Bonan, G. B., Doney, S. C. (2018). Climate, ecosystems, and planetary futures: The challenge to predict life in Earth system models. *Science*, 359 (6375), doi: 10.1126/science.aam8328
- Breiman, L. E. O. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, (45), 5-32. doi: 10.1023/A:1010933404324
- Brown, D., Pijanowski, B., Duh, J. (2000). Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA. *Journal of Environmental Management*, 59 (4), 247-263. doi:10.1006/jema.2000.0369
- Bucini, G., Hanan, N. P. (2007). A continental-scale analysis of tree cover in African savannas. *Global Ecology and Biogeography*, 16 (5), 593-605. doi:10.1111/j.1466-8238.2007.00325.x
- Bunting, E. L., Fullman, T., Kiker, G., Southworth, J. (2016). Utilization of the SAVANNA model to analyze future patterns of vegetation cover in Kruger National Park under changing climate. *Ecological Modelling*, 342, 147-160. doi:10.1016/j.ecolmodel.2016.09.012
- Campo-Bescós, A. M., Muñoz-Carpena, R., Southworth, J., Zhu, L., Waylen, R. P., Bunting, E. (2013). Combined spatial and temporal effects of environmental controls on long-term monthly NDVI in the Southern Africa Savanna. *Remote Sensing*, 5 (12), 6513-6538. doi:10.3390/rs5126513
- Chambers, J. Q., Asner, G. P., Morton, D. C., Anderson, L. O., Saatchi, S. S., Espirito-Santo, F. D. B., ...Souza, C. (2007). Regional ecosystem structure and function: ecological insights from remote sensing of tropical forests. *Trends in Ecology & Evolution*, 22 (8), 414-23. doi:10.1016/j.tree.2007.05.001
- Chaturvedi, V., de Vries, W. T. (2021). Machine learning algorithms for urban land use planning: A review. *Urban Science*, 5 (3), 68. doi: 10.3390/urbansci5030068
- Child, B., Castley, G., Michael, K., Jill, G., Daitz, D., Jonhson, S., ... Holden, P. (2004). Innovations in park management. In *Parks in Transition: Biodiversity, Rural Development, and the Bottom Line* Innovation in park management (pp. 165-88).
- Chokkavarapu, N., Mandla, V. R. (2019). Comparative study of GCMs, RCMs, downscaling and hydrological models: A review toward future climate change impact estimation. *SN Applied Sciences*, 1 (12), 1-15. doi: 10.1007/s42452-019-1764-x
- Cleland, J. (2013). World population growth; past, present and future. *Environmental and Resource Economics*, 55 (4), 543-554. doi: 10.1007/s10640-013-9675-6

- Cui, F., Wang, B., Zhang, Q., Tang, H., De Maeyer, P., Hamdi, R., Dai, L. (2021). Climate change versus land-use change—What affects the ecosystem services more in the forest-steppe ecotone? *Science of the Total Environment*, 759, 143525. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143525
- Cui, X., Gibbes, C., Southworth, J., Waylen, P. (2013). Using remote sensing to quantify vegetation change and ecological resilience in a semi-arid system. *Land*, 2 (2), 108-13. doi:10.3390/land2020108 189
- Dale, V. H. (1997). The relationship between land-use changes and climate change. *Ecological applications*, 7 (3), 753-769. doi: 10.2307/2269433
- De Chazal, J., Rounsevell, M. D. (2009). Land-use and climate change within assessments of biodiversity change: a review. *Global Environmental Change*, 19 (2), 306-315. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2008.09.007
- DeFries, R., Hansen, A., Turner, B. L., Reid, R., Liu, J. (2007). Land use change around protected areas: management to balance human needs and ecological function. *Ecological Applications: A Publication of the Ecological Society of America*, 17 (4), 1031–8. doi:10.1890/05-1111
- DeFries, R., Karanth, K. K., Pareeth, S. (2010). Interactions between protected areas and their surroundings in human-dominated tropical landscapes. *Biological Conservation*, 143 (12), 2870–2880. doi:10.1016/j.biocon.2010.02.010
- Derguy, M. R., Frangi, J. L., Drozd, A. A., Arturi, M. F., Martinuzzi, S. (2019). Holdridge life zone map: Republic of Argentina. *General Technical Report*, 51. <https://naldc.nal.usda.gov/catalog/7510306> adresinden edinilmiştir.
- Eldridge, D. J., Bowker, M. A., Maestre, F. T., Roger, E., Reynolds, J. F., Whitford, W. G. (2011). Impacts of shrub encroachment on ecosystem structure and functioning: towards a global synthesis. *Ecology Letters*, 14 (7), 709–722. doi:10.1111/j.1461-0248.2011.01630.x
- Erkan, H., Seylam, S. G., Yaşayan, A. (2011). Arazi Yönetimi Kavramı ve Türkiye Gereksinimi. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı* 18--22 Nisan 2011, Ankara
- Ford, J. D., Vanderbilt, W., Berrang-Ford, L. (2012). Authorship in IPCC AR5 and its implications for content: climate change and Indigenous populations in WGII. *Climatic change*, 113 (2), 201-213. doi: 10.1007/s10584-011-0350-z
- Gibbes, C., Southworth, J., Waylen, P., Child, B. (2014). Climate variability as a dominant driver of post-disturbance savanna dynamics. *Applied Geography*, 53, 389–401. doi:10.1016/j.apgeog.2014.06.024
- Gümüş, M. G., Durduran, S. S. (2020). Sürdürülebilir arazi yönetiminde optimal tarım arazilerinin belirlenebilmesi için çok kriterli karar destek sistemlerinin kullanımı: Beyşehir-Kazaklı alt havzası örneği. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9 (2), 883-897. doi: 10.28948/ngumuh.719391
- Hagenauer, J., Omrani, H., Helbich, M. (2019). Assessing the performance of 38 machine learning models: the case of land consumption rates in Bavaria, Germany. *International Journal of Geographical Information Science*, 33 (7), 1399-1419. doi: 10.1080/13658816.2019.1579333
- Hansen, A.J., DeFries, R. (2007). Ecological mechanisms linking protected areas to the surrounding lands. *Ecological Applications*, 17 (4), 974–988. doi: 10.1890/05-1098
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S., A, Tyukavina, A., ...Townshend, J. R. G. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342 (6160), 850–3. doi:10.1126/science.1244693
- Holdridge, L. R. (1967). *Life zone ecology*, (rev. ed.), pp.206 pp. ref:94
- Huntingford, C., Jeffers, E. S., Bonsall, M. B., Christensen, H. M., Lees, T., Yang, H. (2019). Machine learning and artificial intelligence to aid climate change research and preparedness. *Environmental Research Letters*, 14 (12), 124007. doi: 10.1088/1748-9326/ab4e55
- Jantsch, M. C., Fischer, A., Fischer, H. S., Winter, S. (2013). Shift in plant species composition reveals environmental changes during the last decades: a long-term study in beech (*Fagus sylvatica*) forests in Bavaria, Germany. *Folia Geobotanica*, 48, 467-491. <https://www.jstor.org/stable/24571981> adresinden edinilmiştir.
- Justice, C., Gutman, G., Vadrevu, K. P. (2015). NASA land cover and land use change (LCLUC): An interdisciplinary research program. *Journal of Environmental Management*, 148, 4-9. doi: 10.1016/j.jenvman.2014.12.004
- Karaman, S., Gökalp, Z. (2010). küresel ısınma ve iklim değişikliğinin su kaynakları üzerine etkileri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, (1), 59-66. https://dergipark.org.tr/tr/pub/tabad/issue/34782/385074#article_cite adresinden edinilmiştir.
- Khanal U, Wilson C, Hoang VN, Lee B (2018) Farmers' adaptation to climate change, its determinants, and impacts on rice yield in Nepal. *Ecol Econ* 144:139–147. doi: 10.1016/j.ecolecon.2017.08.006
- Kiker, G., Scholtz, R., Smith, I., Venter, F. J. (2014). Exploring an extensive dataset to establish woody vegetation cover and

- composition in Kruger National Park for the late 1980s. *Koedoe*, 56 (1), 10. doi:10.4102/koedoe.v56i1.1200
- Kıraç, F. (2021). *Arazi Örtüsü Sınıflandırması İçin Makine Öğrenmesi Yaklaşımı* (İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul. <https://openaccess.izu.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12436/3478> adresinden edinilmiştir.
- Knapp, A. K., Briggs, J. M., Collins, S. L., Archer, S. R., Bret-Harte, M. S., Ewers, B. E., ...Clealy, M. B. (2008). Shrub encroachment in North American grasslands: shifts in growth form dominance rapidly alters control of ecosystem carbon inputs. *Global Change Biology*, 14 (3), 615–623. doi:10.1111/j.1365-2486.2007.01512.x
- Maes, J., Teller, A., Erhard, M., Liqueste, C., Braat, L., Berry, P., ...Bidoglio, G. (2013). Mapping and assessment of ecosystems and their services. *An Analytical Framework for Ecosystem Assessments Under Action*, (5), 1-58. doi: 10.2779/12398
- Maestre, F. T., Cortina, J. (2009). Remnant shrubs in Mediterranean semi-arid steppes: effects of shrub size, abiotic factors and species identity on understorey richness and occurrence. *Acta Oecologica*, 27 (3), 161–169. doi:10.1016/j.actao.2004.11.003 192
- Malhi, G. S., Kaur, M., Kaushik, P. (2021). Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. *Sustainability*, 13 (3), 1318. doi: 10.3390/su13031318
- Marhaento, H., Booij, M. J., Hoekstra, A. Y. (2018). Hydrological response to future land-use change and climate change in a tropical catchment. *Hydrological Sciences Journal*, 63 (9), 1368-1385. doi: 10.1080/02626667.2018.1511054
- Mendelsohn, R., Dinar, A. (2009). Land use and climate change interactions. *Annu. Rev. Resour. Econ.*, 1 (1), 309-332. <https://ideas.repec.org/a/anr/reseco/v1y2009p309-332.html> adresinden edinilmiştir.
- Metcalf, D. B., Asner, G. P., Martin, R. E., Silva Espejo, J. E., Huasco, W. H., Farfán Amézquita, F. F., ...Malhi, Y. (2014). Herbivory makes major contributions to ecosystem carbon and nutrient cycling in tropical forests. *Ecology Letters*, 17 (3), 324-332. doi: 10.1111/ele.12233
- Meyfroidt, P., de Bremond, A., Ryan, C. M., Archer, E., Aspinall, R., Chhabra, A., ...Zu Ermgassen, E. K. (2022). Ten facts about land systems for sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119 (7). doi: 10.1073/pnas.2109217118.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis, *World Resources Institute*, (Washington: Island Press. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf> adresinden edinilmiştir.
- Moleele, N. M., Ringrose, S., Matheson, W., Vanderpost, C. (2002). More woody plants? The status of bush encroachment in Botswana's grazing areas. *Journal of Environmental Management*, 64 (1), 3–11. doi:10.1006/jema.2001.0486
- Moser S.C., Davidson, M.A. (2015) The third national climate assessment's coastal chapter: *The making of an integrated assessment Climatic Change*, 135 (1), 1-15. doi: 10.1007/s10584-015-1512-1
- OGM (2020). Orman Genel Müdürlüğü Resmi İstatistikleri, *Ormanlık İstatistikleri* 2019. <https://www.ogm.gov.tr> adresinden edinilmiştir.
- Olaode, A., Naghdy, G., Todd, C. (2014). Unsupervised classification of images: A review. *International Journal of Image Processing*, 8 (5), 325-342.
- Ozdes, M. (2023). The Good, the Bad and the Ugly side of artificial intelligence: Assessing the potential, capabilities, Limitations, and Ethical Concerns for the use of AI in Land Change Science. (*Preprint*). DOI: 10.13140/RG.2.2.28923.69926
- Ozsahin, E., Alturk, B., Ozdes, M., Sari, H., Eroglu, I. (2022a). GIS-based spatial prediction of poor-drainage areas using frequency ratio: a case study of Tekirdag Province, Turkey. *Applied Geomatics*, 14 (2), 369-386. doi: 10.1007/s12518-022-00439-x
- Ozsahin, E., Ozdes, M. (2022a). Determining the impact of climate change on land suitability for rice paddy cultivation using GIS and RS on FAO maximum limitation approach. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-16. DOI: 10.1007/s00704-022-04033-4
- Ozsahin, E., Ozdes, M. (2022b). Agricultural land suitability assessment for agricultural productivity based on GIS modeling and multi-criteria decision analysis: the case of Tekirdağ province. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194 (1), 1-19. doi: 10.1007/s10661-021-09663-1
- Ozsahin, E., Ozdes, M., Smith, A. C., Yang, D. (2022c). Remote Sensing and GIS-Based Suitability Mapping of Termite Habitat in the African Savanna: A Case Study of the Lowveld in Kruger National Park. *Land*, 11(6), 803. DOI:10.3390/land11060803
- Ozsahin, E., Sari, H., Ozdes, M., Eroglu, I., Yuksel, O. (2022b). Determination of suitable lands for rice cultivation in Edirne plain: GIS supported FAO limitation method. *Paddy and Water Environment*, 1-14. DOI: 10.1007/s10333-022-00895-

- bons, and ethical concerns for the use of AI in land change science. doi: 10.13140/RG.2.2.28923.69926
- Önol, B., Ünal, Y. S., Dalfes, H. N. (2011). İklim değişimi senaryosunun Türkiye üzerindeki etkilerinin modellenmesi. *İTÜ Dergisi/d*, 8 (5), 169-177. http://itudergi.itu.edu.tr/index.php/itudergisi_d/article/view/306 adresinden edinilmiştir.
- Özdeş, M. (2017). *Savanna Vegetation Change in Protected Areas of Southern Africa*, University of Florida, Dissertation. <http://www.secheresse.info/spip.php?article115233> adresinden edinilmiştir.
- Özdeş, M. (2019). Geçmişten Günümüze Tekirdağ Şehirsel Alanının Tarihsel Gelişimi. *II. Uluslararası Coğrafya Eğitimi Kongresi*, Eskişehir, 794-801.
- Özdeş, M., Özşahin, E., Eroğlu, E. (2019). Corine arazi sınıflandırmasına göre Trakya Yarımadası arazi örtüsü/kullanımı özelliklerinin yeniden değerlendirilmesi. *İstanbul Uluslararası Coğrafya Sempozyumu Bildiriler Kitabı* içinde, (s.679, 686). İstanbul.
- Özdeş, M., Southworth, J. (2023). Challenges and Implications of Global Environmental Land Change in the 21st Century: Past, Present, and Future of the Environmental Monitoring on Protected Areas in Savanna Ecosystems, doi: 10.13140/RG.2.2.23051.67363
- Özşahin, E., Özdeş, M., Eroğlu İ. (2019) TR21 Trakya Bölgesi'nde İklim Değişikliğinin Ekonomik Sektörler Üzerine Olası Etkileri. (Editörler) Konukçu F, Albut S, Altürk B. *TR21 Trakya Bölgesinde İklim Değişikliğinin Etkileri ve Uyum Stratejileri*, içinde (169–177). Tekirdağ: Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Yayınları.
- Pacala, S. W., Hurtt, G. C., Baker, D., Peylin, P., Houghton, R. A., Birdsey, R. A., ...Field, C. B. (2001). Consistent land- and atmosphere-based U.S. carbon sink estimates. *Science*, 292 (5525), 2316–2320. doi:10.1126/science.1057320
- Pontius Jr, R. G., Huffaker, D., Denman, K. (2004). Useful techniques of validation for spatially explicit land-change models. *Ecological modelling*, 179 (4), 445-461. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2004.05.010
- Potapov, P., Hansen, M.C., Pickens, A., Hernandez-Serna, A., Tyukavina, A., Turubanova, S., Zalles, V., Li, X., Khan, A., Stolle, F., Harris, N., Song, X-P., Baggett, A., Kommareddy, I., Kommareddy, A. (2022). The Global 2000-2020 Land Cover and Land Use Change Dataset Derived From the Landsat Archive: First Results. *Frontiers in Remote Sensing*, 13, April 2022. doi:10.3389/frsen.2022.856903
- Pörtner, H.O., Roberts, D.C., Adams, H., Adler, C., Aldunce, P., Ali, E., Begum, R.A., Betts, R., Kerr, R.B., Biesbroek, R., Birkmann, J., (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. *IPCC Sixth Assessment Report*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_Citation.pdf adresinden edinilmiştir.
- Reeves, M.C., Manning, M.E., Di Benedetto, J. P., Palmquist, K.A., Lauenroth, W.K., Bradford, J. B., Schlaepfer, D. R. (2018) Effects of climate change on rangeland vegetation in the Northern Rockies, in *Climate Change and Rocky Mountain Ecosystems* (pp.97-114), Springer.
- Rindfuss, R. R., Walsh, S. J., Turner, B. L., Fox, J., Mishra, V. (2004). Developing a science of land change: challenges and methodological issues. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101 (39), 13976–81. doi:10.1073/pnas.0401545101
- Rindfuss, R. R., Walsh, S. J., Turner, B. L., Moran, E. F., Entwisle, B. (2012). Linking pixels and people. *Land Change Science*, (6), 379-394. doi: 10.1007/978-1-4020-2562-4_22
- Robinson, S. A. (2020). Climate change adaptation in SIDS: A systematic review of the literature pre and post the IPCC Fifth Assessment Report. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 11 (4), 1-21. doi: 10.1002/wcc.653
- Rounsevell, M. D., Pedrolı, B., Erb, K. H., Gramberger, M., Busck, A. G., Haberl, H., ...Wolfslehner, B. (2012). Challenges for land system science. *Land Use Policy*, 29 (4), 899-910. doi: 10.1016/j.landusepol.2012.01.007
- Ruane, D.C. Major, H.Y. Winston, M. Alam, S.G. Hussain, A.S. Khan, ...,C. (2013). Rosenzweig Multi-factor impact analysis of agricultural production in Bangladesh with climate change. *Global Environmental Change*, 23 (1), 338-350. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2012.09.001
- Sankaran, M., Anderson, T. M. (2009). Management and restoration in African Savannas: Interactions and feedbacks, Kate Suding (eds). In *New Models for Ecosystem Dynamics and Restoration* (pp. 136–155). Island Press.
- Sankaran, M., Hanan, N. P., Scholes, R. J., Ratnam, J., Augustine, D. J., Cade, B. S., ... Zambatis, N. (2005). Determinants of woody cover in African savannas. *Nature*, 438 (7069), 846–9. doi:10.1038/nature04070
- Sankaran, M., Ratnam, J., Hanan, N. (2008). Woody cover in African savannas: the role of resources, fire and herbivory. *Global Ecology and Biogeography*, 17 (2), 236–245. doi:10.1111/j.1466-8238.2007.00360.x
- Singh K, McClean C. J, Büker, P., Hartley, S.E., Hill, J. K. (2017). Mapping regional risks from climate change for rainfed rice cultivation in India. *Agric Syst* 156:76–84. doi:10.1016/j.agsy.2017.05.009

- Smit, I. P. J., Asner, G. P. (2012). Roads increase woody cover under varying geological, rainfall and fire regimes in African savanna. *Journal of Arid Environments*, 80, 74–80. doi:10.1016/j.jaridenv.2011.11.026
- Song, X. P., Hansen, M. C., Stehman, S. V., Potapov, P. V., Tyukavina, A., Vermote, E. F., Townshend, J. R. (2018). Global land change from 1982 to 2016. *Nature*, 560 (7720), 639-643. doi:10.1038/s41586-018-0411-9
- Sönmez, M. (2011). Adana şehrinin alansal gelişimi ve yakın çevresinin arazi kullanımında meydana gelen değişimler. *Türk Coğrafya Dergisi*, (57), 55-69. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/198434> adresinden edinilmiştir.
- Southworth, J., Gibbes, C. (2010). Digital remote sensing within the field of land change science: Past, present and future directions. *Geography Compass*, 4 (12), 1695–1712. doi:10.1111/j.1749-8198.2010.00401.x
- Southworth, J., Munroe, D., Nagendra, H. (2004). Land cover change and landscape fragmentation—comparing the utility of continuous and discrete analyses for a western Honduras region. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101 (2–3), 185–205. doi:10.1016/j.agee.2003.09.011
- Stern, P. C., Young, O. R., Druckman, D. E. (1992). Global environmental change: Understanding the human dimensions. *National Academy Press*.
- Tarım ve Orman Bakanlığı (2021), CORINE Arazi Sınıflandırması, 15.03.2023 tarihinde <http://corinecbs.tarimorman.gov.tr/corine> adresinden edinilmiştir.
- Tekin, M. K., Tatlı, H., Koç, T. (2021). Climate classification in Turkey: a case study evaluating Holdridge life zones. *Theoretical and Applied Climatology*, 144 (1), 661-674. doi: 10.1007/s00704-021-03565-5
- Tırmanoğlu, B., İsmailoğlu, İ., Kokal, A. T., Musaoğlu, N. (2023). Yeni nesil multispektral ve hiperspektral uydu görüntülerinin arazi örtüsü/arazi kullanımı sınıflandırma performanslarının karşılaştırılması: Sentinel-2 ve PRISMA Uydusu. *Geomatik*, 8 (1), 79-90. doi:10.29128/geomatik.1126685
- Tolunay, D. (2021). Türkiye’de ekosistem tahribat faktörü olarak habitat ve arazi kullanım değişiklikleri. *Memleket Siyaset Yönetim*, 16 (36), 279-304. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/msydergi/issue/68237/1063451> adresinden edinilmiştir.
- Turan, İ. D., Dengiz, O., Kaya, N. S. (2021). Arazi örtüsü/arazi kullanım değişimlerinin farklı zamanlı landsat uydu görüntüleri ile belirlenmesi: Çarşamba delta ovası örneği. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9 (1), 141-152. doi: 10.33202/comuagri.857787
- Türkeş, M. (2012). Türkiye’de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4 (2), 1-32. doi: 10.1501/Csaum_0000000063
- Turner II, B. L., Kasperson, R. E., Meyer, W. B., Dow, K. M., Golding, D., Kasperson, J. X., ...Ratick, S. J. (1990). Two types of global environmental change: definitional and spatial-scale issues in their human dimensions. *Global Environmental Change*, 1 (1), 14-22. doi:10.1016/0959-3780(90)90004-S
- Turner, B. L. (2002). Toward integrated land-change science: Advances in 1.5 decades of sustained international research on land-use and land-cover change. In *Challenges of a changing earth* (pp. 21-26). *Springer*, Berlin, Heidelberg.
- Turner, B. L. (2009). Land Change Science. In R. Kitchin, N. Thrift (Eds.), *International Encyclopedia of Human Geography* (pp. 107–111). Elsevier. doi:10.1016/B978-008044910-4.00931-7.
- Turner, B. L. (2016). Land change science. *International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology*: 1-6.
- Turner, B. L., Robbins, P. (2008). Land-Change science and political ecology: Similarities, differences, and implications for sustainability science. *Annual Review of Environment and Resources*, 33 (1), 295–316. doi: 10.1146/annurev.enviro.33.022207.104943 195
- Turner, B. L., Lambin, E. F., Reenberg, A. (2007). The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104 (52), 20666-20671.
- Turner, B. L., Moran, E., Rindfuss, R. (2012). Integrated land-change science and its relevance to the human sciences. In *Land change science* (pp. 431-447). *Springer*, Dordrecht.
- Turoğlu, H., Özdemir, H. (2005). Bartın İlinin Ekoturizm Potansiyelinin Belirlenmesi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 10 (13), 97-116. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ataunidcd/issue/2434/30923> adresinden edinilmiştir.
- Uddin, M. N., Islam, A. S., Bala, S. K., Islam, G. T., Adhikary, S., Saha, D., ...Akter, R. (2019). Mapping of climate vulnerability of the coastal region of Bangladesh using principal component analysis. *Applied geography*, 102, 47-57. doi: 10.1016/j.apgeog.2018.12.011
- URL1. (2022) Google Akademik Rehberi. 02.11.2022 tarihinde <https://paperpile.com/g/google-scholar-guide/> adresinden edinilmiştir.

- Uzun, A., Somuncu, M. (2013). Madra Dağı ve çevresinin arazi örtüsü/kullanımındaki zamansal değişimin Uzaktan Algılama yöntemi ile değerlendirilmesi. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 16-30, 1-21. <https://dergipark.org.tr/pub/baunsobed/issue/50175/645682> adresinden edinilmiştir.
- Van Auken, O. W. (2009). Causes and consequences of woody plant encroachment into western North American grasslands. *Journal of Environmental Management*, 90 (10), 2931–2942. doi:10.1016/j.jenvman.2009.04.023
- Venter, F. J. (1991). A Classification of Land for Management Planning in the Kruger National Park, U University of South Africa, Unpublished Doctoral Thesis.
- Verburg, P. H., Crossman, N., Ellis, E. C., Heinimann, A., Hostert, P., Mertz, O., ...Zhen, L. (2015). Land system science and sustainable development of the earth system: A global land project perspective. *Anthropocene*, 12, 29-41. doi: 10.1016/j.ancene.2015.09.004
- Walker, B. H., Noy-Meir, I. (1982). Aspects of the Stability and Resilience of Savanna Ecosystems. In B. J. Huntley, B. H. Walker (Eds.), *Ecology of Tropical Savannas* (pp. 556–590). Berlin, Heidelberg: *Springer Berlin Heidelberg*. doi:10.1007/978-3-642-68786-0_26
- Walker, B., Steffen, W., Canadell, J., Ingram, J. (Eds.). (1999). *The terrestrial biosphere and global change: implications for natural and managed ecosystems* (Vol. 4). Cambridge University Press.
- Walter, H., 1954. Die Verbuschung: eine Erscheinung der subtropischen Savannengebiete und ihre ökologische Ursachen. *Vegetatio* 5/6: 6–10.
- Wang H., Hijmans R.J. (2019) Climate change and geographic shifts in rice production in China. *Environ Res Commun* 1:011008. doi:10.1088/2515-7620/ab0856
- Wessels, K. J., Mathieu, R., Erasmus, B. F. N., Asner, G. P., Smit, I. P. J., van Aardt, J. a. N., ... Jacobson, J. (2011). Impact of communal land use and conservation on woody vegetation structure in the Lowveld savannas of South Africa. *Forest Ecology and Management*, 261 (1), 19–29. doi:10.1016/j.foreco.2010.09.012
- Wessels, K. J., Prince, S. D., Zambatis, N., MacFadyen, S., Frost, P. E., Van Zyl, D. (2006). Relationship between herbaceous biomass and 1-km² Advanced Very High-Resolution Radiometer (AVHRR) NDVI in Kruger National Park, South Africa. *International Journal of Remote Sensing*, 27 (5), 951–973. doi:10.1080/01431160500169098
- Wittemyer, G., Elsen, P., Bean, W. T., Burton, A. C. O., Brashares, J. S. (2008). Accelerated human population growth at protected area edges. *Science*, 321 (5885), 123–126. doi:10.1126/science.1158900
- Wu, X., Liu, S., Zhao, S., Hou, X., Xu, J., Dong, S., Liu, G. (2019). Quantification and driving force analysis of ecosystem services supply, demand, and balance in China. *Science of the Total Environment*, 652, 1375-1386. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.329