



Doğal Sermaye ve Ekosistem Hizmetleri: Kavramsal Temeller ve Mekânsal Modelleme Araçları ile Küresel ve Türkiye Uygulamaları

Deniz Başoğlu ACET

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Yer Sistem Bilimleri / Doktora Öğrencisi

denizbasoglu@gmail.com

Orcid No: 0000-0003-1918-1756

Gül Canan YAVUZ

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Biyolojik Bilimler / Yüksek Lisans Öğrencisi

canan.yavuz@metu.edu.tr

Orcid No: 0009-0003-6521-3525

Kasırğa YILDIRAK

Hacettepe Üniversitesi, Aktüerya Bilimleri Bölümü / Prof. Dr.

kasirga@hacettepe.edu.tr

Orcid No: 0000-0002-0797-3505

Özet

Bu çalışma, doğal sermaye ve ekosistem hizmetlerinin kavramsal temelleri ile bu hizmetlerin mekânsal olarak modellenmesine olanak tanıyan araçları değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Ekosistem hizmetlerinin hem fiziksel hem de parasal olarak değerlendirilmesi, sürdürülebilir kalkınma, çevresel planlama ve doğa temelli karar alma süreçleri açısından kritik önemdedir. Bu bağlamda, dünya genelinde yaygın olarak kullanılan ARIES, InVEST ve Co\$ting Nature araçları, teknik özellikleri, veri gereksinimleri, çıktıları ve kullanıcı profilleri açısından karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında, Türkiye’de bu araçların uygulanabilirliği, mevcut veri altyapısı ve politika belgeleriyle olan ilişkisi değerlendirilmiş; mevcut akademik çalışmalar, pilot projeler ve kurumsal girişimlere dair bir derleme sunulmuştur. Literatürdeki çalışmalar, ekosistem hizmetlerinin sayısallaştırılması, haritalandırılması ve doğal sermaye muhasebesine entegrasyonu açısından mekânsal modelleme araçlarının önemli bir potansiyel taşıdığını ortaya koymaktadır. Bu potansiyelin etkili şekilde kullanılabilmesi için veri altyapısının güçlendirilmesi, yasal çerçevelerin oluşturulması ve kurumsal kapasitenin artırılması gerektiği literatürde sıkça vurgulanmaktadır.

Anahtar sözcükler: Mekânsal Modelleme, InVEST, ARIES, Co\$ting Nature, Doğa Temelli Çözümler, Çevresel Muhasebe

Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Deniz Başoğlu ACET, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Yer Sistem Bilimleri Bölümü.

Atıf / Citation: ACET D.B., YAVUZ G.C., YILDIRAK K. (2025). Doğal Sermaye ve Ekosistem Hizmetleri: Kavramsal Temeller ve Mekânsal Modelleme Araçları ile Küresel ve Türkiye Uygulamaları. *İstatistik Araştırma Dergisi*, 15 (1), 17-40.

Natural Capital and Ecosystem Services: Theoretical Foundations and the Global and Turkish Implementations of Spatial Modeling Tools

Abstract

This study aims to evaluate the conceptual foundations of natural capital and ecosystem services, as well as the tools that enable their spatial modeling. Valuing ecosystem services both physically and monetarily is critically important for sustainable development, environmental planning, and nature-based decision-making processes. In this context, three widely used global tools—ARIES, InVEST, and Co\$ting Nature—are comparatively analyzed in terms of their technical features, data requirements, outputs, and user profiles. Additionally, the implementation of these tools within the Turkish context is assessed by reviewing the current data infrastructure, policy documents, academic studies, pilot projects, and institutional initiatives. The findings reveal that spatial modeling tools offer strong potential for quantifying, mapping, and integrating ecosystem services into natural capital accounting. However, to fully realize this potential, it is essential to strengthen data infrastructure, establish legal frameworks, and enhance institutional capacity.

Keywords: Spatial Modeling, InVEST, ARIES, Co\$ting Nature, Nature-based Solutions, Environmental Accounting

1. Giriş

Doğa, insanların ekonomik ve sosyal gelişimi için vazgeçilmez bir kaynaktır. Bu gerçek doğayı bir sermaye olarak nitelendiren ana unsurdur. Doğal sermaye, ekosistemler ve doğal süreçler neticesinde kendini yenileyebilen değerler bütünü olarak nitelendirilebilir.

İnsan refahına doğrudan ya da dolaylı etkisi bulunan, iklim ve su döngüleri üzerindeki düzenleyici hizmetler, gıda üretimi ve kültürel değerlerin korunması gibi çok sayıda ekosistem hizmeti vardır. Bu hizmetleri tanımlamak ve bir değere dönüştürebilmek ‘ekosistem hizmetleri’ adı verilen bir kavramsal çerçeve oluşturulmuş, Binyıl Ekosistem Değerlendirmesi (Millenium Ecosystem Assessment) (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) ile sistematik olarak küresel gündeme taşınmıştır. Ekosistem hizmetleri genel olarak dört temel sınıfa ayrılır: destekleyici, düzenleyici, tedarik edici ve kültürel hizmetler (TEEB, 2010). Ekosistem hizmetlerinin bu bağlamda değerlendirilmesi, insanın doğayla ilişkisini güçlendirme yolunda önemli bir adım olup, çevresel bozulmaların insan refahı üzerindeki ekonomik ve sosyal etkilerinin anlaşılmasına yardımcı olmuştur.

Bu çerçevede geliştirilen kavramlardan biri olan “doğal sermaye”, doğanın yalnızca insanlar tarafından korunması gereken bir varlık olmadığını, bununla birlikte ekonominin de işleyen bir parçası olduğunu ortaya koyan geniş kapsamlı bir yaklaşımdır (Guerry et al., 2015). Fakat veriye dayalı ölçümlerin eksikliği ve yeterli sayıda analitik aracın bulunmaması sebebiyle, doğal sermaye ile ekonomik sistemler arasında kurulması gereken bağlantı halen tam olarak kurulamamıştır (Obst, Hein & Edens, 2015).

Bu bağlantının kurulması adına 2021 yılında Birleşmiş Milletler, Çevre Ekonomi Muhasebesi Sistemi ve Ekosistem Hesaplarına (SEEA EA) dair belirli standartları yayınlamıştır. Bu kapsamda doğal varlıkların parasal ve fiziksel olarak standart bir şekilde muhasebeleştirilmesini sağlamıştır (United Nations, 2021). Bu yöntemle ülkeler, ekosistem durumlarını izleyebilir, çıktıları karar verme ve politika yapma süreçlerine entegre edebilir ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada izleyecekleri yollarda destek alabilir. Gayrisafı Yurtiçi Hasıla gibi

geleneksel ölçütlerin ötesine geçen SEEA EA çerçevesinin kullanımı, Doğanın İnsanlara Katkılarının (Nature's Contributions to People (NCPs) sistematik olarak izlenmesine olanak tanır. (IPBES, 2019).

Doğa Temelli Çözümler (Nature-based Solutions, NbS), IUCN (2020) tarafından, küresel toplumsal zorlukların doğaya dayalı ve iklim değişikliğiyle uyumlu araçlarla çözülmesi olarak tanımlanır. Kentlerde sel riskine karşı, betonarme su kanalları veya kanalizasyon sistemleri gibi geleneksel altyapılar yerine; ağaçlandırma, suyu doğal yollarla tutan gölcükler ve geçirgen yeşil alanlar gibi doğa temelli uygulamalar tercih edilebilir. UNEP'e (2021) göre, doğa temelli çözümler, iklim değişikliği, biyoçeşitlilik kaybı ve arazi kullanımı gibi birden fazla zorluğa eşzamanlı çözüm olabileme kapasiteleri sayesinde maliyet etkin stratejik yaklaşımlar olarak değerlendirilmektedir. Doğa temelli çözümlerin etkin bir biçimde planlanması, uygulanması ve takibinde, sağlam bir mekânsal ekosistem hizmetleri modelleme altyapısı, bu çözümlerin diğer ekosistem hizmetleriyle etkileşimlerinin doğru yorumlanmasını ve geleneksel yöntemlerle parasal ve ekolojik çıktılarının tutarlı biçimde karşılaştırılmasını mümkün kılar.

Ekosistem hizmetinin üretildiği alanlar -yani insanlara fayda sağlayan doğal süreçlerin gerçekleştiği yerler- ile bu hizmetlerden faydalanan nüfusun ve örneğin, iklim düzenleme ve karbon tutma gibi hizmetlerin ilişkisi mekânsal modelleme araçlarıyla haritalanabilir. Bu sayede, hem ekosistem hizmetlerinin mekânsal dağılımı görselleştirilebilir hem de parasal değerinin belirlenmesi ve farklı senaryolar altında hizmet miktarının değişiminin fiziksel ve ekonomik etkilerinin değerlendirilmesi mümkün olur. Böylece karar vericilere ve politika yapıcılara hem görsel hem de sayısal destek sağlanır (Villa et al., 2014). Bu makalede karşılaştırmalı olarak değerlendirilen ARIES, Co\$ting Nature ve InVEST araçları, literatürde en yaygın kullanılan araçlardır (Bagstad et al., 2013; Sharp et al., 2020; Villa et al., 2021). ARIES, semantik ağ yapısı ve yapay zekâ desteğini kullanarak karar destek sistemlerini otomatikleştirir, InVEST çok çeşitli ekosistem hizmetlerinin, tek tek ya da katmanlar halinde, detaylı olarak analiz edilmesini, senaryolar üzerinden gelecek projeksiyonları ile karar vericilere yol gösterilmesini sağlar. Diğer yandan Co\$ting Nature, hızlı işlem kapasitesi ve düşük veri gereksinimiyle, özellikle öncelikli koruma alanlarının planlanması ve doğal sermaye risk analizlerinde kullanılabilir.

Türkiye'de bahsi geçen araçların, değerlendirilmesi ve kullanımlarının yaygınlaştırılması hem ekosistem hizmetleri hem de doğal sermaye muhasebesi için büyük önem taşımaktadır. IPBES tarafından yayınlanan 2019 Küresel Değerlendirme Raporu'nun da sunulan, bir milyon türün yok olma tehlikesiyle karşı karşıya olduğu belirtilmiştir. Bu yüzdendoğanın sosyal ve ekonomik sistemlere entegre edilmesi göz ardı edilemeyecek bir gereklilik haline gelmiştir. Türkiye, 12. Kalkınma Planı'nda (2024-2028) ekosistem hizmetlerinin ve biyolojik çeşitliliğin izlenmesini stratejik hedefler arasında tanımlamıştır. Ancak bu hedeflerinnasıl gerçekleştirileceğine dair teknik araçlar ve yöntemler henüz netleştirilmemiştir (SBB, 2023). Avrupa'nın en fazla biyolojik çeşitliliğe sahip ülkelerinden biri olan Türkiye'de, halen ulusal ölçekte geliştirilmiş, SEEA EA uyumlu bir ekosistem/doğal sermaye muhasebesi sistemi bulunmamaktadır. (Başak, et al., 2022). Bununla birlikte, 2022- 2024 yılları arasında Türkiye İstatistik Kurumu, Orman Genel Müdürlüğü ve Dünya Bankası iş birliğiyle yürütülen 'Doğal Sermaye Hesapları Projesi', sınıflandırılmış bir şekilde ekosistem/doğal sermaye muhasebesine dair çalışmalar Türkiye'de artmıştır. Bu çalışma, uygulanabilir, açık kaynaklı ve farklı kullanıcı profillerine uygun araçları karşılaştırmalı olarak inceleyerek hem politika yapıcılar hem de uygulayıcılar için önemli bir bilgi kaynağı sağlayacaktır.

Bu çalışmada, akademik yayınlar, ilgili proje dokümanları ve kılavuzlar incelenmiş, detaylı literatür taraması yöntemi kullanılarak, mekânsal ekosistem hizmetleri modelleme araçları (ARIES, InVEST, ve Co\$ting Nature) karşılaştırmaya dayalı olarak değerlendirilmiştir. İkinci kısımda, mekânsal modelleme, ekosistem hizmetleri ve doğal sermaye muhasebesi ve mekânsal modelleme araçlarının karar destek süreçlerinde ve planlamalarda sağlayabileceği destekler açıklanmıştır. Üçüncü kısımda, bahsedilen üç farklı aracın teknik olarak incelenmesi, veri gereksinimleri, bu araçları kullanarak alınabilecek çıktılar ve kullanıcı profillerine yönelik detaylı incelemeler bulunmaktadır. Dördüncü kısımda ise, Türkiye'de ekosistem hizmetleri, doğal sermaye hesabı ve mekânsal modelleme araçlarının kullanımına dair bir derleme ile, mekânsal ekosistem hizmetlerinin modellenmesi ve doğal sermaye muhasebesi yaklaşımlarının yaygınlaşması adına Türkiye için politika önerilerine yer almaktadır.

2. Kavramsal Çerçeve

2.1 Ekosistem Hizmetleri Sınıflandırması ve Değerlemesi

Doğal varlıklardan türeyen ekosistem hizmetleri, insan hayatına ekolojik, toplumsal ve parasal olarak somut faydalar sağlar. Bu hizmet akışına dayanarak, IPBES literatüre "Doğanın insanlara katkıları" kavramını kazandırmış ve bu katkıların sürdürülebilirlik ile kalkınma açısından bütüncül bir bakışla ele alınmasının önemini vurgulamıştır. Millennium Ecosystem Assessment (2005) raporuna göre bu katkıları dört ana başlıkta toplar: tedarik hizmetleri (gıda, su, odun vb.), düzenleyici hizmetler (iklim düzenleme, erozyon kontrolü vb.), destekleyici hizmetler (besin döngüsü, toprak oluşumu vb.) ve kültürel hizmetler (rekreasyon, estetik değerler vb.). Bu

sınıflandırmanın yapılması ekosistem hizmetlerinin görünürlüğünü bir nebze artırsa da bu hizmetler uzun süre piyasa sistemine dahil edilmemiş, bu nedenle karar verme süreçlerinde göz ardı edilmiştir. Costanza et al., (1997) tarafından yapılan bir çalışmada, ekosistem hizmetlerinin yıllık küresel değerinin 33 trilyon USD olduğu tahmin edilmiştir ve bu değer, ekosistem hizmetlerinin önemine dair ilginin artmasına yol açmıştır. Bu ilgi sayesinde ekosistem hizmetlerinin fiziksel ve parasal değerlemesine yönelik yöntemler geliştirilmiş, böylece karar vericiler için yeni karar-destek araçları ortaya çıkarılmıştır (Uluç, 2020). Ekosistem hizmetlerinin büyüklüğü hesaplanıp, mekânsal olarak haritalandırılırken faydalanıcılar da belirlenmeli, bu süreçleri de kapsayacak şekilde parasal değerlendirilmesi yapılmalıdır. Ekosistem hizmetlerinin değerlendirilmesinde "ekosistem hizmet döngüsü modeli" ya da "değer akışı modeli" gibi kuramsal yaklaşımlar kullanılır (Haines-Young & Potschin, 2010). Bu modeller, ekosistem bileşenleri ile insanlar arasındaki ilişkiyi kavramsal bir çerçeveye taşır. Değerleme süreci sadece parasal değil, aynı zamanda sosyal, kültürel ve fiziksel göstergeleri de içermelidir (Ruckelshaus et al., 2015). Ekonomik açıdan ekosistem hizmetlerinin değerlendirilmesi sürdürülebilir kalkınma açısından kritik önemdedir (Costanza et al., 1997; TEEB, 2010). Fayda transferi (benzer bir alandan ekosistem değerinin aktarılması), maliyet bazlı yöntemler (harcama ya da yatırım-maliyet temelli değerlendirme) ve tercih beyanı (beyana dayalı değerlendirme) gibi teknikler, öne çıkan değerlendirme yöntemleri olarak listelenebilir.

Doğal sermaye ve ekosistem hizmetlerinin piyasa fiyatları üzerinden değerlendirilmesi, çoğu zaman bu hizmetlerin gerçek değerlerini yansıtmada yetersiz kalmaktadır. Piyasa fiyatları genellikle hizmetin arz-talep dengesiyle belirlenir; bu nedenle arzın yüksek, talebin ise düşük olduğu durumlarda ekosistem hizmetlerinin fiyatları düşük olabilir. Buna karşın, piyasa fiyatı düşük olan bir hizmetin ekolojik sürdürülebilirlik, biyoçeşitlilik koruma veya toplumsal fayda açısından değeri, gerçekte oldukça yüksek olabilir. Örneğin, temiz suyun ya da bazı bitki türlerinin bol olduğu bir bölgede, piyasa fiyatları düşük olabilir, ancak bu kaynakların uzun vadeli korunması veya ekolojik işlevlerin sürdürülmesi açısından önemi yüksektir. Bu durumda piyasa fiyatlandırması, hizmetin gerçek değerini sistematik olarak eksik ölçerek, doğal sermayenin aşırı tüketimine ya da sürdürülebilir olmayan kullanımlarına yol açabilir. Dolayısıyla, ekosistem hizmetlerinin değerlendirilmesinde piyasa fiyatı tek başına yeterli olmayıp, ekonomik değeri çevresel ve sosyal değerlerle bütünleştiren daha kapsamlı değerlendirme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

2.2 Doğal Sermaye ve Muhasebesi

Birleşik Krallık Doğal Sermaye Komitesi, doğal sermayeyi "ekosistem, türler, tatlı su, toprak, mineraller, hava ve okyanuslar ile bunların işleyen doğal süreç ve işlevlerinin, insanlara doğrudan veya dolaylı değer üreten unsurları" olarak tanımlar (Agarwala et al., 2014). Doğal sermaye, üretilmiş, beşerî, sosyal ve finansal sermaye ile toplumun refahına katkı sağlayan beş temel sermaye türünden biridir (Guerry et al., 2015). Doğal sermaye muhasebesi (natural capital accounting), ülkelerin sahip oldukları çevresel varlıkları ve ekosistem hizmetlerini fiziksel ve parasal göstergelerle izleyip bunları kalkınma planlarına entegre etmeyi amaçlar. Bu bağlamda, Birleşmiş Milletler İstatistik Komisyonu öncülüğünde geliştirilen SEEA EA (System of Environmental-Economic Accounting – Ecosystem Accounting), ekosistem muhasebesi için uluslararası standart haline getirilmiştir (United Nations, 2021). SEEA EA sistemi kapsamında, ekosistem varlıkları; arazi kapsamı, durum göstergeleri, hizmet akışları ve parasal değerleri ile raporlanır. Bu yaklaşım, ekosistemlerin ekonomik katkılarını ve olası tahribatlarının maliyetini görünür kılmak için güçlü bir araçtır. Parasal değerlemeler, piyasa değerleri veya piyasa temelli yöntemlerle yapılırken, biyolojik çeşitlilik gibi parasal olarak değerlendirilmeyen varlıklar için fiziksel göstergeler kullanılır. SEEA EA'nin pilot uygulamaları Dünya Bankası ve diğer kurumların desteğiyle farklı ülkelerde test edilmiş, 2021'de standart haline gelmiştir. ARIES aracı, SEEA EA'nin uygulanmasını kolaylaştırmak için geliştirilmiş yapay zekâ tabanlı bir teknolojidir. Kullanıcıların veri kısıtlarına rağmen ekosistem hesaplamaları yapmalarına olanak tanır ve kısa sürede SEEA EA çerçevesinde çıktı üretir (Villa et al., 2021).

2.3 Uluslararası Girişimler ve Uygulayıcı Kurumlar

TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity), doğal sermaye ve ekosistem hizmetlerinin ekonomik değerinin görünür hale getirilmesini hedefleyen küresel bir girişimdir. "Doğanın ekonomisini ana akıma yerleştirmek" sloganıyla politika yapıcılar ve uygulayıcılar arasında köprü kurmayı amaçlar (TEEB, 2010). TEEB'in sentez raporları, ülkelerin sahip olduğu ekosistem hizmetlerinin korunması için bütçe ve politika planlamalarına katkı sağlamıştır.

IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services), 2012 yılında Birleşmiş Milletlerin çeşitli organlarının desteğiyle kurulmuş, hükümetler arası bir bilim-politika platformudur. IPBES ayrıca "Doğanın İnsanlara Katkıları (NCP)" kavramını literatüre kazandırarak kültürel ve yerel değerlerin de dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir. Natural Capital Project, Stanford Üniversitesi, Minnesota Üniversitesi,

The Nature Conservancy ve WWF bir araya gelmesiyle kurulmuş uygulayıcı bir platformdur. Geliştirdikleri InVEST aracı ile karar destek mekanizmalarına bilimsel verilere dayanan çıktılar sağlamayı hedeflemektedir. (Ruckelshaus et al., 2015; Daily et al., 2009). Belize ve Çin gibi ülkelerde yapılan uygulamalar aracılığıyla, mekânsal modelleme çıktıları yerel ve ulusal politikaların geliştirilmesine katkı sağlamıştır. Tüm bu uluslararası girişimler, bilgi üretimi, karar desteği ve uygulayıcı araçların geliştirilmesi yönünde birbirini tamamlayan roller üstlenmektedir.

Özet olarak, muhasebe standartları geliştirici (SEEA EA), bilgi sağlayıcı (IPBES, TEEB) ve uygulayıcı kurumların (Natural Capital Project) birlikte çalışmasıyla, doğal sermayenin korunmasında ve sürdürülebilirliği konusunda uluslararası düzeyde girişimler gerçekleştirilebilir. Fakat bu hedeflere ulaşabilmek için çok sayıda bilimsel veri setine ve ileri düzey modelleme araçlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Mekânsal modelleme araçlarının kullanımı ise tam olarak bu noktada kritik bir önem taşır. Makalenin ilerleyen kısımlarında bu alanlara yönelik yaygın kullanım kazanan üç temel mekânsal modelleme aracı (ARIES, InVEST, Co\$ting Nature) tanıtılacak ve değerlendirilecektir.

3. Mekânsal Ekosistem Hizmet Modelleme Araçları

Mekânsal ekosistem hizmetleri modellemesi, ekosistem hizmetlerini uzamsal dağılımı ve miktarı bakımından belirlemeye yardımcı mekânsal modelleme araçları kullanılarak gerçekleştirilebilir. Mekânsal modelleme araçlarında, genellikle Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı verilerin üzerine, çeşitli kaynaklardan elde edilen çevresel ve biyolojik veriler katman olarak işlenir. Bu araçlarda bulunan ekolojik süreç modelleri, istatistikî yaklaşımlar, yapay zekâ yöntemleri ve ekonomik değerlemeye dair modüller ile, ekosistem işleyişi simüle edilir. Bu sayede, ekosistem hizmetlerinin dağılımı ve büyüklüğü analiz edilebilir, haritalandırma yoluyla ekosistem hizmet akışının yönü ve miktarı belirlenebilir, hizmet sağlayan-hizmetten faydalanan alanlar tespit edilebilir ve bu akışa dair değerlendirilebilir. Bu araçlar doğa ile insan etkileşimini coğrafi olarak görünür hale getirdiği için, planlama ve karar verme süreçlerine de doğrudan bilgi sağlar, bilim ve politika arayüzünün güçlenmesi ve bilimsel olarak tespit edilenin, politikalara yansımaya yardımcı olur. Bu mekânsal modeller ile belirli bir bölge için mevcut durum analizi yapılabileceği gibi, çeşitli senaryo analizleri de gerçekleştirilebilir.

Bu çalışmada, **literatür taramasına dayalı karşılaştırmalı bir değerlendirme yöntemi** kullanılarak, dünya genelinde ekosistem hizmetlerini haritalamak ve senaryo analizleri yapmak için sıkça kullanılan üç mekânsal modelleme aracı (*ARIES*, *InVEST* ve *Co\$ting Nature*); araçların genel yaklaşımı, teknik özellikleri, veri gereksinimleri, çıktıları, kullanıcı profilleri ve avantaj ile dezavantajları bakımından detaylı olarak analiz edilmiştir.

Aşağıda yer alan tabloda (Tablo 1), mekânsal modelleme araçlarının ekosistem hizmetlerinin türüne yönelik sağladığı teknik destekler, modeller ve araçlarla ilişkilendirilmiştir. Tabloda, çeşitli ekosistem hizmetlerini değerlendirmede dört farklı mekânsal modelleme aracının (InVEST, ARIES, Co\$ting Nature ve WaterWorld) nitelikleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir. InVEST ve ARIES, tedarik, düzenleme ve kültürel hizmetler açısından en geniş kapsamlı araçlar olarak öne çıkarken, Co\$ting Nature düzenleme ve kültürel hizmetlere yoğunlaşmaktadır. WaterWorld, tatlı su düzenlemesi ve iklim yönetimi gibi daha çok su ile ilişkili hizmetlere odaklanmaktadır. Mekansal modelleme araçlarının sunduğu hizmetlerin teknik analizleri makalenin devamında karşılaştırmalı olarak incelenecektir.

Tablo 1. Ekosistem Hizmetleri ve Mekânsal Modelleme Araçlarının İlişkilendirilmesi

Kategori	Ekosistem Hizmeti	InVEST (Modüler mekânsal analiz; Sharp et al., 2020)	ARIES (Yapay zekâ destekli hizmet modelleme; Villa et al., 2014)	CoSting Nature (Politika destek modeli; Mulligan & van Soesbergen, 2017)	WaterWorld (Hidrolojik modelleme ve su yönetimi; Mulligan, 2013)
Temin Edici	Gıda temini	✓	✓	✓	✗
	Su temini	✓	✓	✓	✓
	Odun ve yakıt temini	✓	✓	✓	✗
Düzenleyici	Tatlı su düzenlemesi	✓	✓	✓	✓
	İklim düzenleme	✓	✓	✓	✗
	Taşkın kontrolü	✓	✓	✓	✓
	Erozyon kontrolü	✓	✓	✓	✓
	Su arıtımı	✓	✓	✓	✓
	Tozlaşma	✓	✓	✓	✗
Kültürel	Kültürel miras ve rekreasyon	✓	✓	✓	✗
	Estetik değerler	✓	✓	✓	✗
	Spiritüel ve dini değerler	✗	✓	✗	✗
Destekleyici	Birincil üretim desteği	✓	✓	✓	✓
	Besin döngüsü	✓	✓	✓	✓
	Yaşam alanı ve biyolojik çeşitlilik	✓	✓	✓	✗

3.1 ARIES (Artificial Intelligence for Ecosystem Services)

ARIES (Artificial Intelligence for Ecosystem Services)- *Ekosistem Hizmetleri için Yapay Zekâ*, karmaşık ekosistem hizmetlerini, yapay zeka ve semantik ağ teknolojilerini entegre ederek coğrafi ve sosyo-ekonomik bağlamlarda modellemek için geliştirilmiş bir mekânsal modelleme aracıdır (Bagstad et al., 2011; Villa et al., 2014). Dünyadaki ekosistemlerin çeşitliliğini en iyi şekilde temsil etmek adına ARIES ile, seçilen bölgeye dair veriler, küresel veri tabanından ve modeller arasında temsil gücü en yüksek kombinasyon tespit edilerek analiz edilir (Villa et al., 2014). Araç, ekosistem hizmetlerini, kaynak – akış – kullanıcı şeklinde bileşenlere ayırır ve ontolojik olarak tanımlanmış pek çok ekosistem modeli ve veri setini Bayesçi ağlar ve olasılıksal yaklaşımlarla inceleyip, varsa modeldeki belirsizlikleri de bu sayede modele dahil eder (Bagstad et al., 2011; Villa et al., 2014) Bu sayede, hedef bölgeye dair verinin kısıtlı olduğu durumlarda, veri gereksinimi esnek bir şekilde karşılanabilir.

ARIES aracı ile, ekosistem hizmetlerinin kaynak-akış-maliyet ilişkileri de modellenebilir. Buna göre, ekosistem hizmeti kaynak, hizmetten fayda sağlayan faydalanıcı ve bu iki grubu birbirine bağlayan akışı modeller. Örneğin, taşkın kontrolü hizmetinde yıllık yağış kaynak, aşağı havzada yaşayan insanları faydalanıcı ve su tutma kapasitesi olan gölcükleri de taşkın kontrolü ekosistem hizmetinin bir taşıyıcısı olarak tanımlar. Bunlar üzerinden haritalar üretip, hizmetin fiziksel büyüklüğünü hesaplar (akış). Eğer istenirse, bu akışın büyüklüğü para birimi cinsinden de hesaplanabilir.

ARIES platformu ilk yıllarında araştırma amaçlı kullanılsa da zaman içerisinde arayüzü güncellenmiş, kullanıcı dostu hale getirilmiştir. 2021 yılında Birleşmiş Milletler ile iş birliği içerisinde hazırlanan **ARIES for SEEA Explorer** arayüzü, mevcut altyapı kullanılarak, mekânsal ve zamansal ölçekte ekosistem hizmetlerine dair temel göstergeler aracılığıyla ekosistem hizmetlerinin hızlı değerlendirilmesine imkân tanıyan web tabanlı ve açık erişimli bir karar destek aracına dönüşmüştür. Bu platformda SEEA Ekosistem Muhasebesi standartlarına uygun çıktılar üretilmekte ve kullanıcının herhangi bir yazılım kurulumu yapmadan, ulusal ve bölgesel düzeyde hızlı analizler yapması sağlanmaktadır. Bununla birlikte, daha küçük ölçekli (ör., kentsel yeşil alanlar veya göl havzaları gibi) ve yüksek detaylı analizler için ARIES programı k.LAB platformu üzerinden k.Model editörü (ARIES'in gelişmiş bir modülü) bilgisayara indirilerek, kullanıcıların özel modelleri tanımlamasına ve yerel verilerin analizine olanak sağlar. Özet olarak, ARIES for SEEA Explorer arayüzü, ulusal ve bölgesel ölçekte doğal sermaye muhasebesi için temel verilere ve analizlere hızlıca erişilmesini sağlarken, ARIES'in gelişmiş modülleri aracılığıyla, kullanıcının analiz sürecine müdahil olduğu daha detaylı analizler gerçekleştirilebilir (Bagstad S.; Adamo G.; et al., 2025).

3.2 InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs)

InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) – *Entegre Ekosistem Hizmetleri Değerlemesi ve Takas Analizleri*, Stanford Üniversitesi tarafından, 2007 yılında Doğal Sermaye Projesi (Natural Capital Project) kapsamında geliştirilmiş açık kaynaklı bir modelleme yazılım paketidir. 18'den fazla bağımsız modelden oluşan InVEST, çeşitli ekosistemlerde (ör. kara, tatlısu ve deniz) ekosistem hizmetlerini modelleyecek modüller bir yapıya sahiptir (Nelson et al., 2009; Natural Capital Project, 2023; Ruckelshaus et al., 2015). Bu modeller, ekolojik üretim ve simülasyon modellerine dayalı karbon tutma kapasitesi, su verimliliği ve kalitesi gibi ekolojik sorulara cevap arayan modellerden, turizm ve rekreasyon gibi daha sosyolojik sorulara cevap arayan modellere kadar çeşitlidir. Modeller, tek başlarına çalıştırılabilecekleri gibi, üst üste çalıştırılarak, multi-fonksiyonel sorulara da cevap aranabilir.

Tüm modeller açısından en temel veri, güncel bir arazi kullanımı/razi örtüsü haritasıdır (Natural Capital Project, 2023). Bunun yanı sıra, araştırmanın konusu ve modelin temel veri ihtiyaçlarına bağlı olarak, çeşitli haritalar ya da bazı parametre tabloları modelin en iyi şekilde çalışması için araca yüklenmelidir. Sağlanan verilerin çözünürlüğüne bağlı olarak modeller, farklı ölçeklerde çalışabilir (küresel-bölgesel-yerel). Örneğin, sağlanan verinin 30 m veya daha yüksek çözünürlüklü olduğu bir çalışmada, çalışmanın hedefi yerel iken, 300 m veya daha düşük çözünürlüklü veri setleri ile, daha genel sonuçlar üretilebilir (Natural Capital Project, 2023).

InVEST ile ekolojik ve ekonomik hedefleri dengelemek adına, çok çeşitli senaryolar (ör. farklı arazi kullanımına dair yönetim senaryoları) derinlemesine karşılaştırılabilir. Senaryolara dair veriler, kullanıcı tarafından programa yüklenerek, araca gömülü modeller aracılığıyla değerlendirilir ve bu senaryolara dair ekosistem hizmetleri haritalandırılarak, karşılaştırılır. Örneğin, bir bölgede orman alanlarının yok edilmesi ve bu bölgede tarım faaliyetlerinin artırılması gibi senaryolarda; arazi kullanımı, karbon tutma kapasitesi ve su kalitesi üzerindeki etkilerin analizi haritalar üzerinden sayısal olarak gösterilebilir. Böylece, takas analizi (trade-off analysis) metodu ile, en uygun planlama ve yönetim senaryoları tespit edilebilir. Bunun yanı sıra, bazı modeller aracılığıyla kullanıcının talebi ve verilerin varlığı durumunda parasal değerlemeler de yapılabilir. Örneğin, InVEST aracının

karbon tutma modülüne ek bir veri olarak güncel karbon fiyatı eklendiğinde, hedef bölge için toplam karbon tutma değeri belirlenen para birimi cinsinden hesaplanabilir. Ancak unutulmamalıdır ki InVEST modelleri öncelikle ekosistem hizmetlerinin büyüklüklerine odaklanır ve bu bağlamıyla parasal olmayan bir değerlendirme hesabı sunar, parasal değerlendirme kullanıcının tercihi ve modele sunulan veri ile mümkündür.

Açık kaynak kodlu bir yazılım olması, kapsamlı bir kullanıcı kılavuzu bulunması, açık kaynaklardan erişilebilen eğitim programlarının bulunması ve modeller ve araştırma sorularının tartışıldığı bir çevrimiçi topluluk forumunun bulunması, InVEST yazılımının hem akademik literatürde hem de karar vericiler düzeyinde ekosistem hizmetleri değerlendirme ve haritalandırma çalışmalarında yaygın olarak kullanılmasını ve tanınmasını sağlamıştır. Nitekim, yalnızca 2023 yılında InVEST kullanılarak 350'den fazla küresel, bölgesel ve yerel ekosistem hizmetlerinin değerlendiren bilimsel makale yayınlanmıştır (Ruckelshaus et al., 2015); Willcock et al., 2020). InVEST aracının çıktıları araştırmacılar, karar vericiler ve diğer paydaşlar tarafından kolaylıkla anlaşılır olması dolayısıyla, araştırmalarda, uygulamada ve politika geliştirmede önemli bir kaynak olmuştur.

3.3 Co\$ting Nature

Co\$ting Nature, 2010 yılında King's College tarafından doğal sermaye ve seçilen bölgeye dair ekosistem hizmetlerinin ön değerlendirmesi için geliştirilmiş, web tabanlı çalışan bir karar/politika destek aracıdır (Mulligan, 2010). Bu araç ile doğrudan bir parasal değerlemeden ziyade, ekosistemlerin insanlara sağladığı faydaların önemi ve büyüklüğüne göre önceliklendirilmesi sağlanır. Örneğin, bu araç ile, seçilen bir bölgenin karbon tutma, taşkın kontrolü, turizm ve biyoçeşitlilik değerleri gibi hizmetlerin mevcut durumu haritalandırılır ve faydalanıcılar ve ekosistemlerdeki tehdit unsurları modele entegre edilerek, analiz edilir. Bunun sonucunda, seçilen bölgeye dair yönetim planlarına temel bir veri oluşturulur (Mulligan ve van Soesbergen, 2017).

Bu aracın ayırt edici özelliği herhangi bir veri setine ihtiyaç duyulmadan, kullanıcının küresel ölçekte hazır veri setlerinden faydalanarak; dünya genelinde en yüksek 1 km çözünürlükte (bazı bölgelerde ise 1 hektara kadar çözünürlükte) veri setlerini kullanıp, ön tanımlı ekosistem hizmetleri modelleri aracılığıyla hızlı bir çalışma gerçekleştirebilir olmasıdır. Böylelikle, verinin olmadığı ve uzmanlığın kısıtlı olduğu durumlarda, kullanıcı adına kullanım kolaylığı sağlar.

Basitleştirilmiş ve kurala dayalı model yapısıyla Co\$ting Nature, çeşitli hizmetler için indeks ve sınıflandırma yöntemleri kullanır (ör., önceliklendirme indeksi). Bu sayede, istenilen ölçekte her bir pikselin, bir diğerine kıyasla barındırdığı ekosistem değerini ya da ekosistemin karşılaştığı tehditleri ortaya koyar (ör. bilimsel bir önceliklendirme haritası). Bu sonuçlar, kullanımı ve değerlendirmesi kolay olan sonuçlardır. Öte yandan, kullanıcı talebi doğrultusunda yerel verilerin de araca yüklenmesiyle, daha detaylı analizler gerçekleştirilebilir ve modeller yerelleştirilebilir.

Co\$ting Nature gibi King's College tarafından, bu araca ek olarak geliştirilen WaterWorld, su kaynakları yönetimi ve iklim değişikliği gibi zorluklara bağlı etkilerin su kaynaklarının varlığı ve kalitesi üzerindeki etkisinin analizi için özelleştirilmiştir. WaterWorld, gerek küresel veri setlerine ulaşarak gerekse kullanıcıların kendi verilerine modele entegre etmesiyle çalışabilir. Yine, Eco-Actuary modeli de doğa temelli çözüm stratejilerinin yaratacağı risk azaltımını, sigorta ve yatırım karar süreçlerinin değerlendirilmesi için özelleştirilmiştir. Water World modeline benzer şekilde hem küresel veri setleriyle hem de kullanıcı veri setlerinin entegrasyonu ile işlem yapılabilir.

Co\$ting Nature, küresel ölçekte, karar vericiler, kurumlar, sivil toplum kuruluşları ve akademi tarafından, özellikle ekosistem hizmetlerinin envanterinin çıkarılması (ör., Neugarten et al., 2016), öncelikli koruma alanlarının belirlenmesi (ör., Choi H.; Lee D. K., 2018), arazi kullanımı değişimi gibi senaryolarının karşılaştırılması ve biyolojik çeşitlilik sıcak noktalarının belirlenmesi (ör., Hemati M.; Khorasani N., 2020) ve ekosistem hizmetlerinin parasal olarak değerlendirilmesi (ör., Aziz & Van Cappellen, 2019) gibi alanlarda hızlı bir karar destek aracı/politika aracı olarak kullanılmaktadır.

3.4 Araçların Çalışma Akışları

ARIES Modelleme Süreci

1. **Hizmet ve Model Seçimi:** Kullanıcı, değerlendirmek istediği coğrafi bölgeyi belirler ve modellemek istediği ekosistem hizmetlerini seçer. Daha sonra, ARIES, yapay zekâ desteğiyle birlikte değerlendirilen alanın çevresel ve sosyoekonomik durumunu göz önünde bulundurarak, analiz için en uygun alt modelleri otomatik olarak seçer. Çeşitli mekânsal bağlamlarda uygulanabilen bu yaklaşım kullanıcılarına her bir

hizmet için kaynak, akış ve yararlanıcı bileşenlerini ayrı ayrı modelleme imkânı sunar. (Villa et al., 2014; ARIES Consortium, n.d.)

2. **Verilerin Hazırlanması:** Kullanıcının değerlendirmek istediği bölgeye dair yerel verilerin bulunması durumunda bu veriler araca yüklenir. Bu veriler, arazi örtüsü, dijital yükseklik modeli gibi ekosistemlerin fiziksel durumuna dair olabileceği gibi, sosyal ve ekonomik durumlara dair veriler de olabilir. Yerel verilerin bulunmadığı durumda ARIES aracı, küresel açık veri setlerinden, seçilen bölgeye en uygun verileri seçer. Dolayısıyla ARIES aracı, veri gereksinimi konusunda kullanıcıya esneklik sağlar (Martínez-López et al., 2019).
3. **Model Parametrelerinin Tanımlanması:** Anlamsal ağ yapısı sayesinde ARIES sürekli kendi modellerini yapılandırır. Örneğin karbon ile ilgili hizmetler hesaplanırken biyokütle yoğunluğunu veya su ile ilgili hizmetler hesaplanırken akış rotalarını otomatik olarak kendisi tanımlar. Tüm bu parametrelerin belirsizliği hesaplanırken ARIES, Bayesçi olasılıksal ağlar kullanır. Kullanıcının tercihi üzerine farklı senaryolar yürütüldüğünde kullanıcı alternatif veri setleri tanımlayıp analizi gerçekleştirebilir (Villa et al., 2014).
4. **Modelin Çalıştırılması:** Modelin çalıştırılması ile, ekosistem hizmetine dair kaynaklar, akış ve yararlanıcılar, iç ilişkileriyle beraber mekânsal olarak simüle edilir. Örneğin, havzanın altında bulunan yerleşim yerindeki insanlar hizmetin yararlanıcısı, yerleşim yerine yakın orman su tutma hizmeti nedeniyle kaynak, havza ise suyu filtreleme hizmeti nedeniyle akış bileşeni olarak tanımlanır. Hizmetin ortaya çıktığı yer ile yararlanıldığı yerin modellenmesi mekânsal bir bağlamda incelenmiş olur. Bununla birlikte, ekosistem olarak hizmet akışındaki mekânsal eşitsizlikler de ARIES ile modellenilebilir (Martínez-López et al., 2019; ARIES Consortium, n.d.).
5. **Çıktıların Üretilmesi ve Karar Desteği:** Ekosistem hizmetlerinin kaynak ve akış yollarının haritaları, yararlanıcılara dair haritalar, fiziksel durumu ve değişimleri gösteren tablolar ile parasal değerlendirme tabloları, ARIES aracının çıktıları arasındadır. Ek olarak ulusal ekosistem muhasebesine dahil edilecek, SEEA EA standardına uygun tablolar da oluşturulabilir. Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımlarının da yardımıyla, bölgelerin kritik ekosistem hizmetleri belirlenebilir ve böylelikle koruma önceliği haritaları üretilebilir. Bu yönüyle ARIES, bir mekânsal karar destek aracı olarak kullanılabilir (Martínez-López et al., 2019; ARIES Consortium, n.d.).

InVEST

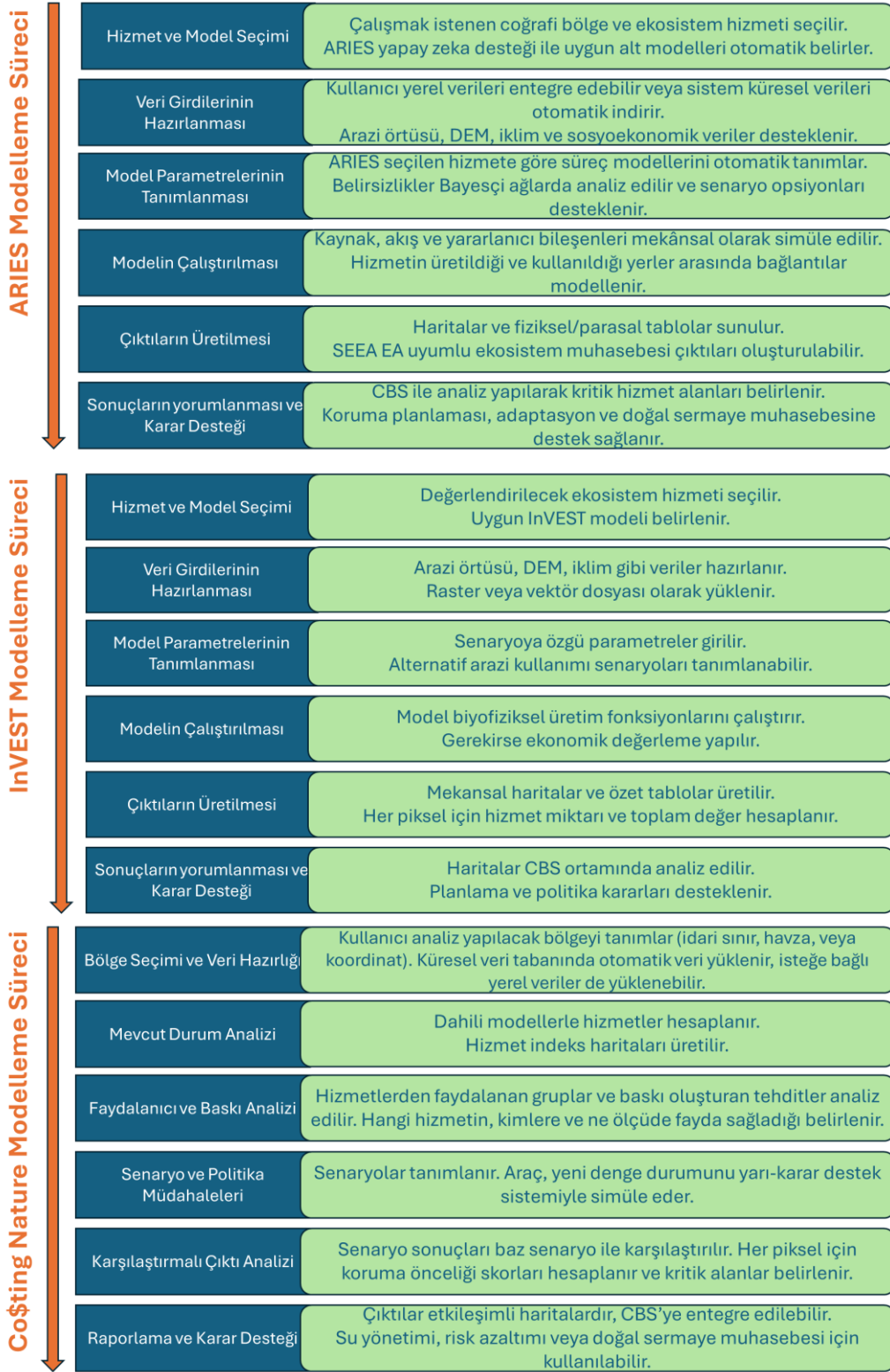
1. **Hizmet ve Model Seçimi:** InVEST her ekosistem hizmeti için ayrı ayrı modüller içerir dolayısıyla bağımsız çalışabilir. Hedef ekosistem hizmetine dair model kullanıcı tarafından seçilir (ör., karbon tutma, su verimi ve taşkın riski kontrolü gibi) (Sharp et al., 2020).
2. **Verilerin Hazırlanması:** Seçilen modelin gereksinimlerine uygun olacak şekilde hazırlanmış mekânsal veri setleri (arazi örtüsü ve arazi kullanımı, dijital yükseklik modeli ve iklim verileri), coğrafi bilgi sistemleri programları kullanılarak haritalandırılıp yazılıma yüklenir (Sharp et al., 2020).
3. **Model Parametrelerinin Tanımlanması:** Kullanıcı tarafından programın arayüzüne istenen senaryoya uygun parametreler işlenir. Bu işlem yapılırken farklı senaryolar da değerlendirmeye alınabilir (ör., alternatif arazi kullanımı senaryoları) (Sharp et al., 2020).
4. **Modelin Çalıştırılması (Verilerin İşlenmesi):** İstenen bölgeye dair veriler, seçilen modellerin üretim fonksiyonlarını çalıştırarak, ekosistem hizmetleri hesaplar. Bu çıktılara ulaşmak adına program ekosistemdeki değişikliklerin etkisini de içeren biyofiziksel fonksiyonlar ve kullanıcı tercihi üzerine ekonomik değerlemeler yapabilir.
5. **Çıktıların Üretilmesi:** InVEST tüm bu işlemler sonucunda çıktılarını, haritalar ve özet tablolar formatında sunar. Ekosistem hizmetlerinin mekânsal dağılımı haritalar üzerinden gösterilebilir. Ekonomik değerlendirme ve toplam hizmet miktarı gibi çıktılar özet tabloda sunulur (Sharp et al., 2020).
6. **Sonuçların Yorumlanması ve Karar Desteği:** Kullanıcı, InVEST yazılımdan elde edilen çıktıları Coğrafi Bilgi Sistemleri programlarını entegre ederek hizmet sağlayan bölgeleri kategorize edebilir, alternatif senaryolar üzerinden bu çıktıları karar vericilere sunabilir. Bu sayede InVEST, planlama ve politika geliştirme süreçlerinde yaygın olarak kullanılabilir (Natural Capital Project, 2023).

CoSting Nature Modelleme Süreci

1. **Bölge Seçimi ve Verilerin Hazırlanması:** CoSting Nature çevrimiçi olarak çalışır. Kullanıcı öncelikle analiz yapmak istediği bölgeyi (ör., idari sınırlar, kullanıcının seçtiği koordinatlar veya havza gibi) seçer. CoSting Nature, küresel veri tabanlarına erişerek seçilen bölge özelinde (1 hektardan 1 kilometre çözünürlüğe kadar) verilere otomatik erişim sağlayıp modele entegre eder. Ek olarak kullanıcı, kendi verilerini de sisteme entegre edebilir (Mulligan, 2018).
2. **Mevcut Durum Analizi (Baz Senaryo) ve Çıktıların Üretilmesi:** CoSting Nature, seçilen bölgenin

mevcut durumunu analiz etmek için baz hizmet değeri hesabı yapabilir. Araç dahili modellerini (ör., WaterWorld modülü aracılığıyla su döngüsü gibi modelleri) kullanarak seçilen ekosistem hizmetlerini hesaplayabilir. Bu işlemler sonucunda hizmet miktarlarının kıyaslanabildiği hizmet indeksi haritaları oluşturabilir. Böylelikle kritik alanlar belirlenebilir. (Mulligan, 2018)

3. **Faydalanıcı ve Baskı Analizi:** Analiz edilen hizmetlere ek olarak, bu hizmetlerden yararlanan nüfus veya sektörler ile bu hizmetler üzerinde baskı/tehdit oluşturan unsurlar da göz önünde bulundurularak, seçilen hizmetlerden kimlerin ne kadar faydalandığı tespit edilir, hizmetlere ve yararlanıcılara dair gelecek projeksiyonları gerçekleştirilebilir (Mulligan, 2018).
4. **Senaryo ve Politika Müdahaleleri:** Mevcut durumu gösteren baz senaryolara ek olarak, kullanıcı farklı yönetim ve politika senaryolarını da değerlendirebilir (ör., iklim değişikliği projeksiyonları, koruma alanlarının değişimleri). Hali hazırda Co\$ting Nature bu senaryolardan bazılarını (ör., nüfus artışı) içerir. Senaryolar aracılığıyla, ekosistem hizmetleri için yeni bir denge durumu hesaplanabilir (Mulligan, 2018).
5. **Karşılaştırmalı Çıktı Analizi:** Haritalar ve endeksler karşılaştırılarak senaryoların birbirlerine göre durumları tespit edilir. Böylelikle, örnek olarak orman kaybının su kalitesiyle ilişkisi ya da uygulanan bir yönetim kararının diğer hizmetler üzerindeki potansiyel etkisi incelenebilir. Co\$ting Nature, analiz dahilindeki her piksel için önceliklendirme skorları belirler. Bu sayede bölgede yüksek hizmet potansiyeli olan veya hizmetin tehdit altında olduğu alt bölgeler tespit edilebilir (Mulligan, 2015).
6. **Raporlama ve Karar Desteği:** Çıktılar web arayüzünde kullanıcının interaktif olarak inceleyebileceği haritalar olarak görünür. Bu haritalar indirilip bir Coğrafi Bilgi Sistemi programında işlenirse çok boyutlu bir değerlendirme yapılabilir. Bu bilgiler doğal sermaye muhasebesi ya da karar verme süreçlerinde kullanıldığında koruma ve yatırım programları için somut yol göstericiler olabilir (Mulligan, 2018).



Şekil 1. ARIES; InVEST ve Co\$ting Nature Araçları'na dair Çalışma Akışları

3.5 Karşılaştırmalı Analiz ve Özet Tablo

Karşılaştırma tablosuna göre, her bir aracın güçlü ve zayıf yönleri bulunmaktadır ve bununla birlikte, ekosistem hizmetlerini değerlendirmek, haritalandırmak ve değerlemek için tek bir ‘en iyi araç’ yoktur. Uygun araç, yapılacak olan çalışmanın amacı, mevcut veriler, eğitim ve deneyim durumu (uzmanlık düzeyi) ile, çıktı olarak elde edilmek istenen sonuca göre farklılık gösterebilir. ARIES, verilerin yeterli olmadığı durumlarda, yapay zekâ destekli yapısıyla, seçilen bölgeye ve bağlama uygun modellemeyi otomatik olarak seçtiğinden, ekosistem hizmet akışlarının mekânsal analizi ve doğal sermaye muhasebesi için hızlı ve güçlü çözümler sunar. ARIES gibi Co\$ting Nature da verilerin yeterli olmadığı durumda, kullanıcıya hızlı ve bütüncül bir ekosistem hizmetleri taraması yapma imkânı sağlar, bir ön çalışma olarak stratejik planlama için genel ekosistem hizmetleri eğilimlerini haritalandırır. Öte yandan InVEST, kullanıcıya detaylı kontrol ve özelleştirme imkânı sunduğu için, seçilen bölgeye yönelik derinlemesine analizlere olanak sağlar, detaylı senaryo analizleri gerçekleştirilebilir.

Daha önce yapılan çalışmalarda, farklı ekosistem hizmetleri araçları, kapsamlı bir değerlendirme yapılarak belirli kriterlere göre puanlanmıştır. Bu çalışmalardan biri olan ve Bagstad ve arkadaşları tarafından 2013 yılında gerçekleştirilen karşılaştırma çalışmasında, ARIES ve InVEST araçlarının, akademik literatürde sıkça yer bulması ve pek çok kez uygulanarak sonuçlarının güvenilirliğinin test edilmiş olması bakımından genel kullanıma hazır araçlar oldukları beyan edilmiştir (Bagstad et al., 2013). Öte yandan Millennium Ecosystem Assessment, hızlı sonuç alınabilmesi ve veri ihtiyacının bulunmaması nedeniyle, önemli bir potansiyel olarak tanımlanmıştır. Bu makalenin yayın tarihinden bu yana, her 3 araçta da önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. InVEST aracının entegre modelleri, çeşitlendirilerek sayısı arttırılmış, ekolojik modelleri güncellenmiştir. ARIES, yapay zekâ entegrasyonu ve birlikte-işlerlik (inter-operability) nosyonuyla değerlendirme kapasitesini arttırmış, kullanıcı portföyünü genişletmiştir ((Bagstad S.; Adamo G.; et al., 2025). Co\$ting Nature ise, “**Co\$ting Nature for TNFD (CN4TNFD)**” arayüzü ile, “doğaya bağlı finansal risklerin analizi ve haritalandırılması” hedefiyle, TNFD (Taskforce on Nature-related Financial Disclosures) şartlarına uyum sağlaması beklenen şirketler ve kurumların kullanabileceği, TNFD standartlarına uyumlu yeni bir arayüz geliştirmiştir (*Co\$tingNature for TNFD*, n.d.).

Özetle, InVEST, ARIES ve Co\$ting Nature gibi araçların yardımıyla ekosistem hizmetleri sayısallaştırılır ve haritalandırılır. Mekânsal modellemede elde edilen fiziksel durumu gösteren veriler parasal değerlerle eşleştirilerek, ekosistem hizmetleri ve doğal sermaye modellemesi gerçekleştirilir. Bununla birlikte, tüm araçlar, yetkinliklerinin ve potansiyellerinin gerisinde kullanılmaktadır. Her ne kadar her üç aracın da akademik amaçlarla yaygın olarak kullanıldığı bilinse de araçlardan elde edilen sonuçların doğrudan karar verme süreçlerine veya politika değişikliklerine yol açmadığı bilinmektedir (Başak, et al., 2022). Ancak bu araçların etkin kullanımı için **veri altyapısının güçlendirilmesi, mekânsal modelleme araçlarına yönelik politika yapımcılarının desteği, modellerin yasalaştırılması ve kurumsal ve toplumsal kapasitenin geliştirilmesi** kritik faktörlerdir. Bu sayede, ekosistem hizmetleri için bilim ile politika arasında bir köprü kurulabilir.

Tablo 2. Mekânsal Ekosistem Modelleme Araçları: Karşılaştırmalı Analiz

	ARIES	InVEST	Co\$ting Nature
Amaç ve Kullanım Alanı	Entegre değerlendirme: SEEA EA uyumlu mekânsal modelleme, dahili belirsizlik analizi ve veri eksikliğinin olduğu durumlarda otomatik veri seçimi. Ulusal ekosistem muhasebesi çalışmaları ve sektörel politika analizi	Detaylı değerlendirme: Seçilen bölgeye ve değerlendirme yapılan ekosistem hizmetine uygun modül seçimi ile detaylı mekânsal ekosistem modellemesi, ekosistem hizmetleri değerlendirme (hizmet birim fiyatı üzerinden). Detaylı politika tasarımı, analizi ve denge (trade-off) analizi	Stratejik planlama: Hızlı yerel, bölgesel, ulusal ölçekte mekânsal ekosistem hizmeti modellemesi; WaterWorld modeli ile hidrolojik hizmetlerin, Eco-Actuary modeli ile doğaya dayalı risk azaltımı modellemesi. Ekosistem hizmetleri üzerinden öncelik analizleri (öncelikli alan, koruma alanı gibi haritalar)
Modelleme Yaklaşımı	Yapay zeka destekli, semantik ağ tabanlı, kaynak-faydalancı arası akışı, belirsizlikler ile modelleme	Deterministik ekolojik üretim fonksiyonları temelli, farklı ekosistem hizmetleri için farklı modüller aracılığıyla, kullanıcının hedeflerine uygun kontrollü modelleme	Hızlandırılmış ön çalışmalar için, basitleştirilmiş ekosistem hizmet modeli veya modelleri (çoklu hizmet değerlendirme) seçimi ile, ekosistem hizmetini (piksel ölçeğinde) endeksleme ve önceliklendirme
Ekosistem hizmetleri kapsamı	~ 10 ekosistem hizmeti (Karbon tutma, taşkın kontrolü, su verimliliği, rekreasyon, besin tuzu regülasyonu gibi)	~25 ekosistem hizmeti modülü (Su, karbon, tarım ürünleri, tozlaşma, habitat kalitesi ve risk değerlendirmesi, rekreasyon, taşkın risk yönetimi, yenilenebilir enerji üretimi, kentleşme ve rekreasyon gibi)	~ 18 ekosistem hizmeti (Suyun varlığı ve kalitesi, karbon, doğal afet kontrolü, kültür ve doğa-temelli turizm hizmetleri, rekreasyon, biyolojik çeşitlilik gibi)
Çıktılar	Fiziksel ekosistem hizmet akışlarını ve büyüklüklerini gösteren haritalar, tablolar, SEEA EA uyumlu doğal sermaye muhasebesi tabloları	Ekosistem hizmet büyüklüklerini gösterdiği haritalar, senaryo analizi için tablo ve grafik özetleri, parasal değer hesaplamaları.	Göreceli endeks haritaları ve önceliklendirme haritaları: her piksel için 0-1 arasında bir önem/öncelik endeksinin haritalandırılması.
Parasal değerlendirme kapasitesi	Belirli ekosistem hizmetleri için, piyasa eşdeğeri yaklaşımıyla parasal değerlendirme	Belirli ekosistem modelleri için, hizmetin birim fiyatının parasal çarpan olduğu durumda, parasal ekosistem hizmet değerinin hesaplanması (ör. Karbon fiyatı ~ karbon tutma hizmeti)	Parasal çıktı üretmez.
Veri İhtiyacı	Araç, kullanıcıda yeterli veri bulunmadığı durumda küresel veri tabanından en uygun verileri seçerek çalışır. Daha detaylı bir analiz için verilerin kullanıcı tarafından yüklenmesi ve çalıştırılması önerilir.	Veriler (haritalar, parameter tabloları) kullanıcı tarafından, ilgili ekosistem modellerinin ihtiyaçlarına göre araca yüklenir.	Küresel veri tabanında bulunan veriler ile çalışır. Daha detaylı bir analiz için verilerin kullanıcı tarafından yüklenmesi ve çalıştırılması önerilir.
Çözünürlük ve Ölçek	~ 300 m çözünürlüğe kadar, bölgesel ve ulusal çalışmalar için uygundur	Kullanıcı tarafından araca yüklenen verilerin çözünürlüğüne bağlıdır. Analiz süresi ve zorluk düzeyi verinin ve hedef bölgenin boyutuna bağlı olarak değişir. Yerel ölçekte (ör. 10-30 m) ulusal ve küresel ölçeğe çalışmalar yapılabilir.	Küresel veri tabanı ~1 km ila ~1 hektar çözünürlükte veri setleri içerir. Ücretli versiyonlarda daha yüksek çözünürlüklü veri ile çalışılabilir. Bölgesel-ulusal ölçekli karşılaştırmalar için idealdir, küçük ölçekli analiz için uygun değildir.
Platform özellikleri	Web tabanlı arayüz ve masaüstü yazılım	Masaüstü yazılım	Web tabanlı arayüz
Kullanıcı profili	Web tabanlı arayüz: geniş bir kullanıcı portföyü, Masaüstü yazılım: uzman kullanıcılar için ileri modeller, veri entegrasyonu, model geliştirme. Kurumlar (İstatistik kurumları, bakanlıklar), araştırmacılar	Kullanıcıların tamamı için Coğrafi Bilgi Sistemleri ve ekolojik modellemeye temel seviye aşinalık gerektirir. Çıktıların uzmanlarca yorumlanmasına ihtiyaç duyulabilir. Çevre ve ekoloji uzmanları, araştırmacılar ve sivil toplum kuruluşları	Geniş kullanıcı portföyü; Kurumlar ve politika yapımcılar, saha yöneticiler, sivil toplum kuruluşları, araştırmacılar
Kullanım Kolaylığı ve Teknik Gereksinimler	Web tabanlı arayüz: Kullanım: Kolay, Gereksinim: Yok Masaüstü yazılım: Kullanım: Orta-Zor, Gereksinim: Yazılımın kurulumu ve çalıştırılması gerekir. Kurulum için temel ihtiyaçlar kontrol edilmelidir.	Kullanım: Orta-Zor: Kullanıcı dostu bir arayüzü vardır ancak verilerin hazırlanması ve çıktıların yorumlanması için CBS tecrübesi gerektirir. Geniş bir kullanıcı topluluğu ve dokümantasyon desteği mevcuttur. Gereksinim: Yazılımın kurulumu ve çalıştırılması gerekir. Kurulum için temel ihtiyaçlar kontrol edilmelidir.	Kullanım: Kolay: Temel harita okuryazarlığına sahip herkes analiz yapabilir. Teknik destek sınırlıdır. Gereksinim: Web tabanlı arayüzü nedeniyle, herhangi bir yazılım kurulumu gerekmez.
Avantajlar	Verilerin yetersiz olduğu durumlarda küresel veri setinden en uygun temel veriler ve modellerin kullanımı, belirsizlik analizi, doğal sermaye muhasebesi standartları ile uyum	Bilimsel olarak kabul görmüş, farklı hizmetler için detaylandırılmış entegre modeller ve uygulamalar, yüksek model şeffaflığı, kullanıcı kontrolünde senaryo analizleri, eğitim ve uygulamada yardımcı kaynakların çokluğu	Hızlı değerlendirme ve sonuç oluşturma, verilerin yetersiz olduğu durumda küresel veri setinden model çalıştırabilme, kullanım kolaylığı, hidrolojik ve risk temelli modeller için ayrı modüllerin bulunması
Dezavantajlar	Düşük model şeffaflığı, detaylı analizlerin ve senaryo analizlerinin kullanıcı açısından uzmanlık gerektirmesi	Yüksek veri ve uzmanlık ihtiyacı, anlık karar desteği için yavaş kalması	Endeksleme/önceliklendirme yaklaşımı nedeniyle nicel kesinliği düşük çıktıların üretilmesi, ekosistem hizmetlerinin büyüklüğüne dair (ton, m ³ gibi) nicel büyüklüklerin eksikliği, ekosistem hizmetlerinin bütünsel endekslenmesi nedeniyle özel hizmetlere dair kısıtlı bilgi

4. Türkiye'deki Uygulamalar ve Politika Bağlamı

4.1 Türkiye'deki Uygulama Örnekleri ve Mekânsal Modelleme Araçlarının Kullanımı

Makalenin bu bölümünde, mekânsal ekosistem hizmetleri modellemesine dair son yıllarda ülkemizde gerçekleştirilmiş akademik çalışmalar, pilot projeler ve mekânsal ekosistem hizmetlerine dair araçların kullanımı ele alınacaktır.

4.1.1 Akademik Çalışmalar

Türkiye'nin çeşitli ekosistemlere sahip ve biyoçeşitliliğin yüksek olduğu bir bölgede yer alması nedeniyle ekosistem hizmetlerinin potansiyel bir büyüklüğü vardır. Esra Başak ve arkadaşları tarafından yapılan derleme, son yıllarda Türkiye'de ekosistem hizmetlerine dair akademik çalışmaların arttığını ve makalenin yayınlandığı tarihe kadar bu konuda yaklaşık %80'i akademik olmak üzere 247 çalışmanın gerçekleştirildiğini tespit etmiştir (Başak, et al., 2022). Türkiye'de gerçekleştirilen çalışmalarda en çok odaklanılan hizmet kategorisi, düzenleyici ekosistem hizmetleri olmuştur (ör. iklim düzenleme, su kalitesi, erozyon kontrolü gibi). Bu çalışmaların çok azında mekânsal modelleme (%17,4), haritalandırma ve ekonomik değerlendirme (~ %4) çalışması gerçekleştirilmiştir.

Başak ve diğerleri (2022), ekonomik değerlendirme çalışmalarının az olmasını, 3 temel zorlukla yani, uzmanlık kapasitesinin yetersizliği, tutarlı bir ekolojik ve ekonomik veri altyapısının ve muhasebe yönteminin bulunmaması ve ekonomik büyüme odaklı politika yaklaşımlarının, doğal sermaye değerinin hesaplanmasını geri planda bırakması ile ilişkilendirmiştir (Başak, et al., 2022). Bununla birlikte, Türkiye'de özellikle sulak alan ve kırsal ekosistemler ile ilgili, büyük oranda seyahat maliyeti ve koşullu değerlendirme yöntemlerine dayalı parasal değerlendirme çalışmaları bulunmaktadır (Çiçekalan et al. (2023). Örneğin Kalfa (2025), İğneada Longozu için, bireysel seyahat maliyeti yöntemi ile toplam rekreasyonel kullanım değerini hesaplamıştır (yaklaşık 1,29 milyar ₺). Gürlük (2006) ise Bursa'daki Misi orman ve su ekosistemleri için, Misi Kırsal Kalkınma Projesi kapsamında orman ve su ekosistemlerinin korunmasına yönelik yıllık ortalama kişi başı ödeme isteğini ve toplam ödeme isteğini (2,3 milyon USD/yıl) olarak hesaplamıştır. Yine, Tonyaloğlu (2025), Aydın Adnan Menderes Üniversitesi kampüsünde bulunan ağaç örtüsünün karbon tutma ve hava kirliliğini giderme kapasitesini çalışmış ve bu hizmetlerin toplam ekonomik değerini 303.537 USD olarak tahmin edilmiştir. Küresel Çevre Fonu (GEF) desteğiyle 2009-2013 yılları arasında, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğü yürütücülüğünde gerçekleştirilen "Türkiye'nin Deniz ve Kıyı Koruma Alanları Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi" kapsamında, Özel Çevre Koruması (ÖÇK) altında bulunan deniz ve kıyı koruma alanlarında, ekosistem hizmetlerinin ekonomik değerlemesi, bölgelerin karbon tutma, erozyon kontrolü, balıkçılık ve turizm hizmetlerinin yıllık ekonomik değerleri üzerinden hesaplanmıştır. Fethiye-Göcek bölgesi için bu değer yaklaşık 210 milyon USD/yıl (Bann ve Başak, 2013a), Köyceğiz-Dalyan için 51 milyon USD/yıl (Bann ve Başak, 2013b) ve Datça-Bozburun için 38 milyon USD/yıl olarak belirlenmiştir (Bann ve Başak, 2013c).

4.1.2 Pilot Projeler ve Kurumsal Girişimler

Türkiye'de ekosistem hizmetleri yaklaşımı ve doğal sermaye hesapları uygulamada henüz geniş bir yer bulamamaktadır. Bununla birlikte, son yıllarda, kent ve doğa alanında bazı gelişmeler de yaşanmaktadır. Örneğin, Doğa Koruma Merkezi, Çankaya Belediyesi ve bein İZ TV iş birliğinde gerçekleştirilen "Doğa ve Şehirler Projesi" kapsamında, Çankaya İlçesi için ekosistem hizmetleri haritalandırılmış, değerlendirilmiş ve "Şehir Planlama Aracı Olarak Ekosistem Hizmetleri: Çankaya İlçesi Örneği" adı altında raporlandırılmıştır. Bu raporda, düzenleyici ve kültürel hizmetlerin mekânsal dağılımı, Çankaya ilçesindeki mahalleler düzeyinde değerlendirilmiş, karar vericilerin kentsel planlama süreçlerinde faydalanabileceği bir kaynak oluşturulmuştur. (Çağlayan et al., 2020). Proje, Avrupa Komisyonu'nun "Yeşil Altyapı – Avrupa'nın Doğal Sermayesini Geliştirmek" bildirimini doğrultusunda yürütülmüştür (European Commission (EC), 2013). Bu yönüyle de ekosistem hizmetlerinin mekânsal modellemesi ile doğal sermaye hesabı ve yönetimi arasında kurduğu ilişki bakımından örnek bir uygulama çalışması olmuştur.

4.1.3 Mekânsal Modelleme Araçlarının Kullanımı ve Fırsatlar

Türkiye'de InVEST aracı ile gerçekleştirilmiş örnek çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, Uçar (2021), İstanbul'un Üsküdar ilçesinde bulunan Fethipaşa Korusu'nu, karbon depolama ve ısı adası etkileri bakımından; InVEST

aracının karbon modülünü kullanarak, karbon depolama ve tutma hizmetlerini mekânsal olarak analiz etmiştir ve kentsel yeşil alan planlamasına ekosistem hizmetlerinin entegrasyonuna yönelik karar destek çıktıları üretmiştir. (Uçar, 2021). Yine, Ersoy Mirici ve Berberoğlu (2020) tarafından, Doğu Akdeniz Havzası, **1990–2025** yılları arasındaki arazi örtüsü değişimleri esas alınarak, InVEST aracının karbon modülü yardımıyla karbon depolama kapasitesindeki değişimler haritalandırılmış, bölgenin karbon tutma hizmeti ekonomik değeri hesaplanmıştır (Ersoy Mirici ve Berberoğlu (2020). İstanbul Büyükşehir Belediyesi’nde 2023 yılında yayınlanan “İstanbul Sürdürülebilir Enerji ve İklim Eylem Planı” kapsamında, InVEST aracının Habitat Kalitesi modülü aracılığıyla, İstanbul ili habitat kalitesi ve habitat bozulması haritalandırılmış ve değerlendirilmiştir (İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı, 2023).

Co\$ting Nature ve WaterWorld gibi araçlar, açık kaynaklı literatürde yapılan araştırmaya göre henüz Türkiye’de kullanılmamıştır. Bununla birlikte bu araçlar, özellikle veri eksikliği olan bölgelerde ekosistem hizmetlerinin değerlendirilmesi, ulusal ekosistem hizmetleri envanterlerinin çıkarılması, havza bazında öncelikli koruma alanlarının belirlenmesi, su kaynaklarının değerlendirilmesi ve yönetimi ile doğa temelli risk azaltımı alanlarında önemli bir potansiyel sunmaktadır. Bu doğrultuda, bu araçların Türkiye’de çeşitli çalışmalar ve pilot projeler aracılığıyla uygulanması, test edilmesi ve ulusal düzeyde veri altyapısı ile entegrasyonu, doğal sermaye muhasebesi ve yönetimi açısından önemli olabilir. Aynı şekilde, ARIES (Artificial Intelligence for Environment & Sustainability) aracının da açık kaynaklı literatürde yapılan araştırmaya göre, Türkiye’de henüz doğrudan uygulanmış örneğine rastlanmamaktadır. Bununla birlikte, ARIES, özellikle doğal sermaye muhasebesinin geliştirilmesi, havza yönetimi, korunan alan planlaması ve kentsel yeşil altyapının optimizasyonu gibi farklı çalışmalarda önemli bir potansiyele sahiptir. Bu ve benzeri çalışmalar için, ilk olarak küresel veriyle pilot uygulamalar, ardından ulusal veri setleri ile zenginleştirilmiş yerel senaryolar geliştirilebilir.

4.2 Politika Önerileri

Başak ve arkadaşları (2022) tarafından yapılan çalışmada da ortaya koyulduğu gibi, Türkiye’de ekosistem hizmetleri alanındaki çalışmalar günden güne artmakla birlikte, daha çok akademik yayınlarla sınırlı kalmaktadır (Başak, et al., 2022). Özellikle doğal sermaye ve ekosistem hizmetlerinin mekânsal değerlemesinin yaygın bir uygulama haline gelmesi ve karar alma süreçlerine entegre olması adına, bu bölümde iki başlık altında politika önerileri sunulacaktır.

4.2.1 Ekosistem Hizmetleri ve Doğal Sermaye Verilerinin Güçlendirilmesi

Türkiye’de ekosistem hizmetleri değerlendirmesi ve doğal sermaye muhasebesi için, veri altyapısının güçlendirilmesine ihtiyaç vardır. Bu doğrultuda hem veri üretim süreçlerinin iyileştirilmesi ve standardize edilmesi, hem de ulusal ölçekte ekosistem değerlendirme çerçevelerinin oluşturulması kritik önemdedir.

1. **Ulusal Veri Altyapısının Geliştirilmesi ve NEA Yaklaşımı:** Türkiye’de veri altyapısının ekosistem hizmetleri değerlendirmesi için iyileştirilmesi ve ekosistem modelleme araçları ile uyumlu hale getirilmesi, mekânsal ekosistem hizmet araçlarının kullanımının yaygınlaşması açısından önemlidir. Ekosistem hizmetleri ve Türkiye’de seçilen bölgeye göre değişmekle birlikte, uzaktan algılama sistemlerinden gelen bazı verilere (uydu görüntüleri, iklim ve arazi örtüsü/kullanımı haritaları gibi), değişen çözünürlüklerde açık kaynaklı olarak erişilebilmektedir. Tarım ve Orman Bakanlığı üzerinden CORINE arazi örtüsü haritalarına (<https://corinecbs.tarimorman.gov.tr/corine>), Ulusal Biyoçeşitlilik Veritabanı’na (<https://nuhungemisi.tarimorman.gov.tr/public/istatistik>), Meteoroloji Genel Müdürlüğü üzerinden Türkiye Resmi İklim İstatistikleri’ne ulaşılabilir (<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx>) ve mekânsal ekosistem hizmetleri değerlendirme araçlarında kullanılabilir. Bununla birlikte, özellikle biyoçeşitlilik ve habitat kalitesi veri setlerinde hem içerik hem de süreklilik bakımından eksiklikler bulunmaktadır. Bu alandaki eksikliklerin giderilmesi adına, ulusal ölçekte bir ekosistem değerlendirme çalışmasına ihtiyaç duyulmaktadır. (Schröter et al., 2016). Birleşmiş Milletler de bu konuda ülkeler hem yol gösterici hem de değerlendireci olacak bir girişim kurmuştur. Ulusal Ekosistem Değerlendirmesi (National Ecosystem Assessment Initiative (NEA) Girişimi, ekosistem hizmetlerinin ulusal ölçekte, ulusal ihtiyaçlara ve koşullara uygun biçimde ve yaygın bir şekilde değerlendirilmesini sağlamak adına, Biyoçeşitlilik ve Ekosistem Hizmetleri Üzerine Hükümetlerarası Bilim ve Politika Platformu (IPBES) tarafından geliştirilen süreci uyarlamak için ülkelere destek sağlamaktadır (*Home - NEA Initiative*, n.d.). Bu bağlamda, ilk olarak Birleşik Krallık tarafından 2011 yılında yayınlanan Ulusal Ekosistem Değerlendirmesi (UK NEA) örneği dikkat çekicidir. UK NEA, doğal varlıkların ve ekosistem hizmetlerinin kapsamlı bir envanterini çıkararak, ülkenin çevre politikalarına doğrudan yön vermiş ve

doğa-temelli ekonomik kalkınma stratejilerinin geliştirilmesini sağlamıştır (UK National Ecosystem Assessment, 2011). Bu rapor, Birleşik Krallık'ın doğal sermaye muhasebesi çerçevesinin şekillendirilmesinde, politikalara entegrasyonunda ve ekosistemlerin değeri hakkında kamuoyu bilincini artırmada önemli bir rol oynamıştır (Wilson et al., 2014). Bu sayede Birleşik Krallık, ekosistem değerlendirmesini pratik muhasebe ve politika araçlarıyla ilişkilendirmede lider konumdadır. (Maes et al., 2015). Benzer bir süreç Türkiye’de de uygulanırsa, doğal sermayenin görünür hale getirilmesi, mekânsal planlamaya bilimsel veri desteği sağlanması, iklim değişikliğine uyum ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılması gibi önemli kazanımlar elde edilebilir. Bu nedenle, ulusal düzeyde bir ekosistem değerlendirmesinin başlatılması, yalnızca veri eksiklerinin kapatılması açısından değil, aynı zamanda doğa temelli karar alma mekanizmalarının güçlendirilmesi ve doğal sermaye muhasebesine geçiş açısından kritik önemdedir (Maes et al., 2012, 2015; Wilson et al., 2014).

- 2. Ulusal Ekosistem Envanteri ve Doğal Sermaye Muhasebesine Geçiş:** Ulusal ekosistem envanterlerinin oluşturulması, doğal sermaye muhasebesine geçiş için ilk ve öncelikli adımdır. Dünyada ve Avrupa’da pek çok ülke, gayri safi yurtiçi hasıla gibi makroekonomik göstergelerin yanı sıra, doğal sermaye hesaplarını da kayıt altına almaya başlamıştır. Türkiye de Birleşmiş Milletler tarafından 2021 yılında çerçevesi çizilen Ekosistem Muhasebesi yoluyla, belirlenen standartlara uygun olarak ekosistem muhasebesi/doğal sermaye muhasebesi kaydı geliştirme sürecine aktif olarak katılmalıdır. Bu sayede, ülkenin ekosistem hizmetlerine dair varlıklar, küresel standartlara uyumlu aralıklarla, fiziksel ve parasal olarak raporlanabilir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK); Orman Genel Müdürlüğü (OGM) ve Dünya Bankası iş birliği ile, 2022- 2024 yılları arasında, bu hususa önderlik edecek “Doğal Sermaye Hesapları Projesi” yürüttüklerini duyurmuştur (@tuikbilgi, <https://x.com/tuikbilgi/status/1869326581325234436>) 2022 yılında Orman Genel Müdürlüğü bünyesinde Ekosistem Hizmetleri Daire Başkanlığı kurulmuştur. 2024-2028 yıllarını kapsayan 12. Kalkınma Planında da biyoçeşitlilik ve ekosistem hizmetlerinin iklim değişikliği ile bağlantılı olarak araştırılması, izlenmesi ve değerlendirilmesi faaliyetlerinin sürdürüleceğine dair hedefler konulmuştur (SBB, 2023). TÜİK ve Ekosistem Hizmetleri Daire Başkanlığı koordinasyonunda, ulusal bir ekosistem envanteri oluşturulması, doğal sermaye muhasebesine geçişte temel bir adım olarak kabul edilmektedir. Ulusal ekosistem envanterleri, ülke genelindeki ekosistemlerin mevcut durumlarının sistematik şekilde haritalandırılması yani, ekosistemlerin fiziksel ve mekânsal durumlarına dair temel ve kapsamlı bilgilerin derlenmesi ile oluşturulur (Capriolo et al., 2020; Hein et al., 2016; Hein, Remme, et al., 2020; Sumarga et al., 2015; Vallecillo et al., 2019) Bu envanterler, ekosistem hizmetlerinin fiziksel ve parasal değerlerinin hesaplanması için temel veri kaynağını oluşturur ve Birleşmiş Milletler’in Sistematik Çevre-Ekonomi Muhasebesi (SEEA) ve Deneysel Ekosistem Muhasebesi (EEA) kapsamında tanımlanmış, uluslararası standartlara uyumlu tabloların ve mekânsal haritaların oluşturulması için standart bir veri sağlar (Capriolo et al., 2020; Hein, Remme, et al., 2020; Vallecillo et al., 2019) Doğal sermaye hesapları da bu envanterin üzerine inşa edildiğinde, ekosistem hizmetlerinin ve varlığının günümüzden geleceğe değişimini takip etmek mümkün olur. (Capriolo et al., 2020; Hein et al., 2016; Hein, Remme, et al., 2020; Sumarga et al., 2015) Doğal sermaye muhasebesi ile, geleneksel GSYİH göstergelerine ek olarak, ülkenin ekosistemlerinin ve doğal kaynaklarının insanlara katkıları (Doğanın İnsanlara Katkıları, NCPs) ve ekosistem kayıplarının ülkeye gerçek maliyeti de ekonomik ve politik karar alma süreçlerine entegre edilebilir (Brandon et al., 2021; Hein, Bagstad, et al., 2020; Obst, Hein & Edens, 2015. İtalya ve Hollanda’da son yıllarda gerçekleştirilen uygulama örnekleri, ulusal ekosistem envanterinin doğal sermaye muhasebesine geçişte önemli bir adım olduğunu ve yıllara sâri sistematik olarak tekrarlanabilir hesaplamaları mümkün kıldığını göstermektedir (Capriolo et al., 2020; Hein, Remme, et al., 2020; Vallecillo et al., 2019). Bu noktada, ARIES for SEEA aracı kullanılarak, sistemde halihazırda bulunan küresel veriler üzerinden Türkiye için hızlı bir ön değerlendirme yapılabilir (Villa et al., 2021). Araca herhangi bir yerel veri yüklenmeden gerçekleştirilecek bir ön değerlendirme, Türkiye’nin ormanları, sulak alanları ve tarım alanlarının ekosistem hizmetlerinin büyüklüğü ve değerine dair kabaca bir hesabın ortaya konulmasını sağlar. Bu ön çalışmaya ek olarak, Türkiye’ye özgü verilerin de sisteme entegre edilmesiyle, hesaplama genişletilebilir. Bu çalışmalar, ARIES aracı ile gerçekleştirilebileceği gibi, InVEST ve CoSting Nature gibi diğer modellerden de elde edilen verilerle beslenebilir.

4.2.2 Mekânsal Planlama Süreçlerinin Yasalara Entegrasyonu

- 1. Planlama Belgelerindeki Boşluklar:** Türkiye’nin **Ulusal Biyolojik Çeşitlilik Eylem Planı (2018–2028)** (Türkiye Cumhuriyeti, 2018), Türkiye’deki biyoçeşitliliğin korunması ve sürdürülebilirliği açısından kapsamlı bir strateji sunar. Ancak, biyolojik çeşitlilik-ekosistem hizmetleri ilişkisi ve buna bağlı olarak **ekosistem hizmetlerinin değerlendirilmesi ve entegre yönetimi** konularında bazı önemli boşluklar içermektedir. Ekosistem hizmetleri kavramı, Eylem Planında genel hatlarıyla tanımlamakta, ancak

hizmetlerin **mekânsal olarak modellenmesi, hizmet akışları ve değişimlerin izlenmesi, ekosistem hizmetlerinin karar alma süreçlerine entegre edilmesi** gibi uygulamalardan söz edilmemektedir. Ekosistem hizmetleri ile biyolojik çeşitlilik arasındaki fonksiyonel ilişki göz önünde bulundurularak (Harrison et al., 2014), Eylem Planında ekosistem hizmetlerinin izlenmesi ve değerlendirilmesine yönelik somut eylemlere yer verilmesi, bu kapsamda çeşitli mekânsal modelleme araçlarından elde edilecek çıktı ve göstergelerin, Eylem Planı performans göstergeleri arasına alınması, hedeflerin bilimsel verilere dayalı takibini mümkün kılacaktır.

İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı (2024–2030) ile İklim Değişikliğine Uyum Stratejisi ve Eylem Planı (2024–2030), iklim değişikliğinin etkilerini azaltma ve uyum sağlama konusunda kapsamlı hedefler sunmakla birlikte, ekosistem hizmetleri yönetimi ve doğal sermaye muhasebesi konularında önemli boşluklar barındırmaktadır. Özellikle ekosistem hizmetlerinin mekânsal olarak modellenmesi, hizmet akışının izlenmesi, bu hizmetlerin sektörel planlamalara entegre edilmesi ve doğal sermaye muhasebesinin geliştirilmesi gibi kritik uygulamalar ile iklim değişikliği etkisi arasındaki ilişkiye bu belgede yer verilmemiştir. Yine, iklim değişikliğine uyum ve afet riskinin azaltılması konularında son yıllarda önemli bir araştırma alanı olan Doğa Temelli Çözümler (DTÇ) kavramına bu belgede sınırlı biçimde yer verilmiş olsa da, bu çözümlerin mekânsal önceliklendirilmesi, modelleme ve ekonomik analizler yoluyla karar destek mekanizmalarına entegre edilmesi yönünde somut bir çerçeve sunulmamıştır. Bununla birlikte, DTÇ uygulamalarına dair potansiyel ekosistem hizmeti faydaları (karbon tutma kapasitesi, taşkın yönetimi gibi), mekânsal modelleme araçları ile analiz edilerek, iklim değişikliğini azaltma ve uyum ile ilgili karar alma süreçlerine entegre edilebilir. İklim Eylem Planları, iklim değişikliğinin etkisinin azaltılması ve uyum konularında gerçekleştirilebilecek eylemlerin planlanması ve uygulanması aşamalarında, InVEST, ARIES ya da Coting Nature gibi mekânsal modelleme araçlarının kullanımını, ekosistem hizmetlerinin iklim değişikliği etkisi altında değişiklik gösterebilecek su yönetimi, tarımsal üretim, kentsel planlama ve afet riskini azaltma yönündeki stratejilere doğrudan entegre edilmesini, doğa temelli çözümler için mekânsal önceliklendirme çalışmalarını ve bu çözümlere dair ekosistem etkilerinin modellenmesi ile, bu yaklaşımlar ışığında doğal sermaye muhasebesi altyapısının oluşturulmasını ve iklim değişikliği etkisi altında değeri değişebilecek ekosistem varlıklarının ekonomik değerinin ulusal muhasebe sistemine entegre edilmesini teşvik edecek şekilde güncellendiği takdirde, Türkiye'nin iklim değişikliğine karşı daha dirençli, doğa temelli ve sürdürülebilir bir politika yapısı oluşturmasına katkı sağlanacaktır.

2. **Yasal altyapının oluşturulması ve güçlendirilmesi:** Ekosistem hizmetleri genel çerçevesi Türkiye'de, ulusal düzeyde iklim değişikliği etkilerinin azaltılması önceliğinde, çeşitli uluslararası doğa koruma politikalarına paralel olarak (Convention on Biological Diversity, Ramsar Koruma Alanları, Avrupa Birliği Natura 2000, Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi gibi); kamusal projelere, sektörel planlara (Ulusal Biyoçeşitlilik Stratejisi ve Eylem Planı – 2018 – 2028, Ulusal İklim Değişikliği Eylem planı gibi) ve bir takım diğer planlama süreçlerine entegre edilmiştir (Başak, et al., 2022). Yukarıda bahsi geçen uluslararası politikalar ve yerel eylem planları, Türkiye'de ekosistem hizmetleri ve doğal sermaye muhasebesi için kavramsal düzeyde bir çerçeve sunmaktadır. Bununla birlikte, uygulama sürecinin güçlenmesi için yasal altyapının geliştirilmesi ve ekosistem hizmetleri modelleme araçlarının planlama süreçlerine sistematik bir şekilde entegrasyonuna ihtiyaç vardır. Özellikle ilgili bakanlıklar ve kurumların, bu çerçeve içerisinde belirli araçların kullanımını önceliklendirmesi ve yasal altyapının oluşturulması, bu araçların uygulamada kullanımını teşvik edecektir. Bu sayede kentsel ve kırsal alanların planlanmasında, yüksek ekosistem hizmeti değerine sahip su kaynakları havzaları, karbon yutak alanları, biyolojik çeşitlilik merkezleri gibi alanlar, mekânsal planlama araçlarının yardımıyla “korunacak alanlar” olarak belirlenebilir. Yasal altyapının oluşturulmasıyla, ilgili araçların çıktıları da standardize edilmiş analizler olarak, daha geniş ölçekli planlama için önemli ve güvenilir kaynaklar olacaktır.

4.2.3 Kurumsal ve Toplumsal Kapasitenin İş birliği ve Koordinasyonun Artırılması Yoluyla Geliştirilmesi:

Ekosistem hizmetleri yaklaşımının ve değerlendirmesinin Türkiye'de **yaygınlaşması ve karar alma süreçlerine entegrasyonu, kurumsal ve toplumsal kapasite ve farkındalık çalışmaları ile kurumlar arası iş birliğinin artırılması ile doğrudan ilişkilidir** (Başak, et al., 2022). Özellikle, çevre, orman, tarım, su ve kentleşme alanlarında çalışan kamu kurumları, ekosistem hizmetleri ve değerlendirilmesi alanında çalışanlarının farkındalığını ve teknik kapasitesini artırmaya yönelik çalışmalar yürütülebilir, coğrafi bilgi sistemleri, ekosistem hizmetleri modellemesi alanında eğitimler düzenleyebilir ve ilgili uluslararası kuruluşlarla teknik rehberlik hizmetleri için iş birlikleri yapılabilir. Örneğin Küresel Çevre Fonu (GEF) tarafından finanse edilen, Orman Genel Müdürlüğü, Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı ve Doğa Koruma Merkezi işbirliğinde yürütülen “Akdeniz Entegre Orman Yönetimi Projesi” kapsamında, seçilen pilot bölgelerde ekosistem hizmetleri haritalama ve planlama çalışmaları gerçekleştirilmiş, bu çalışmalara da pilot bölgelerdeki orman işletme müdürlüklerinin

kurumsal kapasitesinin artırılması hedefiyle ilgili kurum personeli dahil edilmiştir (Pamukçu Albers et al., 2018). Bu tür proje deneyimleri ile gerçekleştirilen başarı hikayeleri, diğer projelere de örnek teşkil edebilir. Kurum ölçeğinde kapasite geliştirilmesi ile, her kurum kendi ilgi alanındaki ekosistem hizmetlerini değerlendirebilir hale gelecek ve bu değerlendirmeler de ulusal değerlendirmeler için kaynak oluşturabilecektir.

Bununla birlikte, ekosistem hizmetlerinin disiplinler arası ve çok sektörlü bir konu olduğu göz önünde bulundurularak, ülkenin farklı kurumları (ilgili bakanlıklar, belediyeler, TÜİK, üniversiteler ve sivil toplum örgütleri) çeşitli iş birliği mekanizmaları geliştirmelidir. Bu kapsamda, kentsel planlama süreçlerinde, yerel yönetimler ile üniversite işbirlikleri, tarım politikalarının geliştirilmesinde ilgili bakanlıkların yereldeki sivil toplum kuruluşları ile işbirlikleri, doğal sermaye çalışmalarında ilgili bakanlıkların, üniversiteler, ulusal ve uluslararası sivil toplum kuruluşları ve kar amacı güden şirketler ile iş birlikleri; ekosistem hizmetleri yaklaşımı ve uygulamaları konusunda olumlu bir farkındalığa ve uygulama süreçlerinde de tüm sektörler bakımından uyumun kolaylaşmasına hizmet edebilir. İşbirliklerinin artırılmasında çok ortaklı projeler önemli bir araçtır ve pilot projelerin geliştirilmesi için Türkiye'nin kalkınma planları ile uyumlu olacak şekilde, su yönetimi, tarım, kentleşme ve iklim değişikliğine uyum ile turizm gibi temalar tercih edilebilir. Bu çalışmalar için InVEST, CoSting Nature ve ARIES gibi araçlar birlikte ya da ayrı ayrı olarak kullanılabilir, sonuçlar karşılaştırılarak güncel durum daha iyi anlaşılabilir ve gelecek projeksiyonları gerçekleştirilebilir. Yine, tarım-yoğun bölgelerde gerçekleştirilecek iş birlikleri (Tarım ve Orman Bakanlığı, İl ve İlçe Tarım ve Orman Müdürlükleri, yerel kooperatifler, sivil toplum kuruluşları gibi) ve projeler, tarımın ekosistem hizmetleri ve biyolojik çeşitlilikle doğrudan bağının anlaşılmasına, yereldeki üreticinin “Doğanın İnsanlara Katkıları” farkındalığının ve “Doğa Temelli Çözümler” konularındaki farkındalığın ve dolayısıyla tercihlerin artmasına neden olacaktır. Kentlerde ise, iklim değişikliğine bağlı etkilerin, kırsala oranla daha şiddetli hissedilmesi nedeniyle (Su, Chang ve Pai, 2022), merkezi ve yerel yönetimlerin, üniversiteler ve sivil toplum kuruluşları ile işbirliği halinde gerçekleştireceği, iklim değişikliği projeksiyonları ile desteklenmiş ekosistem hizmetleri haritalandırma ve değerlendirme çalışmaları, kentin iklim değişikliğine uyumda öncelikli alanlarının tespitine ve iklim değişikliğine uygun yatırımların, merkezi ve yerel yöneticiler tarafından bilimsel gerekçeler doğrultusunda desteklenmesine yol açacaktır. Turizm potansiyeli yüksek bölgelerde, merkezi yönetime bağlı kurumlar ve yerel yönetimler, bölgesel ve yerel turizm kuruluşları, üniversiteler ve işletmelerin iş birliğinde gerçekleştirilecek, örneğin “koruma-kullanma dengesi”ni gözetken ekosistem hizmetleri değerlendirme projeleri, kısa, orta ve uzun vadede bu dengenin hangi faktörlerden etkilendiğini ve ekosistem üzerindeki baskılar altında turizm değerinin ne şekilde ve ne kadar değişkenlik göstereceğini ortaya koyabilir. Bu gibi projelerin ve iş birliklerinin sonuçları, bugünden ekosistem değerinin korunması adına atılacak adımları motive edecek bir bilgi altyapısı oluşturur.

Bu politika önerileri, Türkiye’de mevcut olan ekosistem hizmetlerinin ve doğal sermayenin korunması ve sürdürülebilir şekilde devamlılığı için, mekânsal ekosistem hizmeti değerlendirmesinin daha etkin ve entegre biçimde kullanılması ihtiyacına odaklanmıştır. Kurumlar arası iş birliği ile teknik ve toplumsal kapasitenin artırılması, bu alandaki iyi uygulamaların artmasını ve ekosistem hizmetleri ve doğal sermaye kavramlarının ulusal ve yerel düzeyde daha fazla dikkate alınmasını sağlayacaktır. Veri altyapısının güçlendirilmesi ile mekânsal modelleme araçlarının kullanımı yaygınlaşacak, bu sayede karar destek sistemleri olarak kabul görmeleri de artacaktır. Doğal sermaye muhasebesine geçiş ile, Türkiye’nin doğal varlıklarının gerçek değeri anlaşılacak, bu sayede bu sermayenin çevresel, ekonomik ve toplumsal faydası da artacaktır. Yine, mekânsal modelleme araçları ile Doğa Temelli Çözümler ve benzeri stratejilerin iklim değişikliği ve diğer çeşitli toplumsal zorluklara dair faydaları valide edilecek. Bu sayede geleneksel yöntemlere kıyasla tercih edilmeleri sağlanacaktır. Tüm bunlarla birlikte, politika zemininde atılacak adımlar ile kurumsal uyum ve uygulama kapasitesi de artacak, ulusal ve uluslararası iklim ve biyoçeşitlilik taahhütlerine uyum artırılmış olacaktır. Bu öneriler, Türkiye’de ekosistem temelli yaklaşımın artması ve yaygınlaşması açısından bir yol haritası olarak değerlendirilebilir.

Doğal sermaye hesaplarının finansal sistemdeki sürdürülebilirlik etki ve risk metriklerine entegre edilmesi, şirketlerin iklim değişikliği, biyolojik çeşitlilik kaybı ve su stresi gibi çevresel riskleri net bir şekilde değerlendirmesini sağlar. Bu hesapların yalnızca kamu otoriteleriyle sınırlı kalmayıp özel sektörün yatırım kararlarını yönlendiren objektif bir gösterge setine dönüşmesi, sermayenin doğa dostu projelere akışını hızlandırır ve piyasalarda şeffaflığı artırır. Böylece doğal sermaye muhasebesinin finansal metriklere dahil edilmesi, çevresel finansmanın etkinliğini ve toplumsal refahı yükseltecek bütüncül bir dönüşümü tetikler (Yıldırak ve Seyhun, 2025).

5. Tartışma ve Sonuç

Mekânsal modelleme araçları kullanılarak ekosistem hizmetlerinin incelenmesi ve doğal sermaye hesaplamaları, 21. yüzyıl sürdürülebilir kalkınma planlamalarında büyük bir role sahiptir. Ülkemizin sahip olduğu doğal sermayenin korunup geliştirilebilmesi için bu değerlerin görünür kılınması ayrıca ekonomik ve politik karar alma

süreçlerine dahil edilmesi gerekmektedir. Bu hedeflere ulaşabilmek adına bilim insanları ve politika yapımcılar arasında köprü oluşturulması etkileşimlerinin pekiştirilmesi açısından önemlidir. Bu etkileşimi sağlayacak faktörler arasında mekânsal modelleme araçlarıyla üretilecek somut çıktılar gösterilebilir. Anlaşılması güç ve uzmanlık gerektiren kompleks ekolojik süreçler, haritalar ile ifade edildiğinde, karar vericiler ve bilim insanları arasındaki iletişim güçlenecek ve konuların politik gündeme entegrasyonu kolaylaşacaktır. Örnek olarak, yerel yönetimlerde karar verme süreçlerine destek olarak sunulan, görsel olarak açıklayıcı ve anlaşılır haritalar, yeşil alanların bölgenin hava kalitesi veya serinletici etkisi üzerinde olan rolünü göstermek için doğru seçimler olacaktır. Bir başka örnek olarak, ormanlık alanların su tutma kapasiteleri sayesinde bölgede gerçekleşebilecek taşkın riskini azaltması bölgede yaşayan bir çiftçiye anlatıldığında, ormanı korumaya yönelik desteğin artacağı öngörülebilir. Sonuç olarak, teknik analizler, veri setleri veya modeller kadar, iletişim ve etkileşim, ekosistem hizmetlerinin anlaşılması, korunması ve değerlendirilmesi için gereklidir.

Bu çalışmada ekosistem hizmetlerin mekânsal olarak değerlendirmesi ve doğal sermaye hesaplamalarında kullanılan temel araçlardan ARIES, InVEST ve Co\$ting Nature (WaterWorld modülü de dahil olmak üzere) detaylı şekilde incelenip çeşitli açılardan karşılaştırmaları yapılmıştır. Kullandıkların metotların ve karar destek süreçlerine katkılarının çeşitliliği vurgulanmıştır. Karşılaştırmalı olarak değerlendirilmeleri, doğal sermaye ve ekosistem hizmetleri yönetimi alanlarında kullanılacak, ölçekleri ve amaçları farklı birden fazla aracın halihazırda mevcut olduğunu göstermektedir. Yapay zekâ tabanlı esnek bir yapıya sahip olması nedeniyle ARIES, ekosistem hizmet akışlarının ve belirsizleri modellenmesinde kullanıldığında, ekosistem muhasebelerine doğrudan katkıda bulunabilir. Diğer taraftan SEEA EA çerçevesinde doğal sermaye muhasebesi yapabildiği ve mekânsal hizmet akışlarını belirsizlikleri dahil ederek hesap edebilmesi ile ileri düzey bir platformdur. InVEST, çeşitli kullanıcı kitlelerine hitap etmesi ve modüler yapısıyla yaygın kullanım kazanmış, çok sayıda ekosistem hizmetini modelleyip nicel sonuçlar üretebilen ve kullanıcılara senaryolar dahilinde analiz yapma hizmeti sunan bir platformdur. Co\$ting Nature ise veriye ulaşımın kısıtla olduğu hallerde, kullanıcıların hızlı bir şekilde değerlendirme yapmalarını sağlar. Çıktıları, politik zeminde farkındalık yaratma ve önceliklendirme çalışmaları süreçlerinde kullanılabilir. Senaryo analizlerinin ve proje bazlı değerlendirmelerin yeterli veriler ve uzmanlıkla desteklenmesi halinde, InVEST derinlemesine analizler yapılmasına ve çıkarımlar yapılmasına olanak sağlar. Co\$ting Nature ve WaterWorld gibi araçlar ise hızlı politika analizi, öncelikli doğal kaynakların belirlenmesi veya doğal afet riski azaltımı gibi konularda veri ve zaman kısıtlamalarına takılmadan çözümler sunabilir.

Türkiye için değerlendirmeler yapılırken, bahsi geçen araçların kademeli olarak entegre edilmesi önerilmektedir. İlk aşama olarak Co\$ting Nature ile ekosistem hizmetlerinin ulusal ölçekte haritalandırılıp öncelikli alanların belirlenmesi, akabinde InVEST kullanılarak bu alanlara dair senaryolar yürütülmesi ve maliyet etkinlik analizlerinin yapılması, elde edilecek olan çıktılardan ARIES platformunu kullanarak SEEA EA ile uyumlu doğal sermaye muhasebe tablolarının oluşturulması örnek bir yol olarak izlenebilir. Bu şekilde izlenecek bütüncül bir yaklaşımla Türkiye, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma sürecinde bilim temelli bir politika geliştirme kapasitesine ulaşabilir. Araçların etkin kullanımı ile doğal sermaye korunup sürdürülebilir kalkınmaya ulaşılabilir. Nihai hedef, ekosistem hizmetlerinin değerinin anlaşılabilir, somut ve nicel bir şekilde ortaya konması, karar vericiler tarafından göz ardı edilemeyecek bir şekilde altının çizilmesidir. Tüm bu potansiyel uygulamalar, Türkiye'nin ulusal çevre hedeflerine ulaşabilmesi ve uluslararası sürdürülebilirlik taahhütlerinin de yerine getirilmesini sağlayacaktır.

Özet olarak, her ne kadar Türkiye'de ekosistem hizmetleri hakkında sahip olunan akademik bilgi birikimi genişliyor olsa da bu bilgi birikimini uygulamaya ve politikaya entegre etmek için bu çabadan daha fazlası gerekiyor. Halihazırda literatür Türkiyede ekosistemlerin çok sayıda hizmet sağladığını gösteriyor (Başak, et al., 2022). Bu faydaların korunabilmesi ve sürdürülebilmesi için düzenli olarak izlenip, yönetsel planlamalara dahil edilmeleri gereklidir. Bu takibi gerçekleştirebilmek için ARIES, InVEST, Co\$ting Nature gibi araçlar kullanılabilir. Türkiye bu araçların yardımıyla doğal sermaye hesabı yapabilir, doğal sermayesini haritalayabilir, değerleyip stratejiler oluşturabilir. Ekosistem hizmetlerinin mekânsal modellemesi, hesabı ve doğal sermaye muhasebesinin yaygınlaştırılması Türkiye'de hem iklim değişikliğine ile mücadele hem de sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada vazgeçilmez araçlardır. Bunları gerçekleştirebilmek için ulusal veri tabanlarının ve altyapının güçlendirilmesi, karar destek süreçlerine mekânsal modelleme araçları çıktılarının entegre edilmesi, kamu kuruluşları, özel sektör, akademi, yerel yönetimler ve sivil toplum kuruluşları arasındaki işbirliğinin kuvvetlendirilmesi, doğa temelli çözümlerin uygulanması için kapsayıcı planlamalar ve önceliklendirme kılavuzlarının oluşturulması, sektörel planlamada yerel ve ulusal ölçekte ekosistem hizmetlerinin sistematik olarak dahil edilmesi ulaşılabilir ancak kritik hedeflerdendir. Bu sayede, Türkiye'de iklim değişikliğine uyum kapasitesi artırılıp, biyoçeşitlilik ve doğal sermayenin korunumu ve küresel taahhütlere uyum sağlanacaktır. Politik zeminde de iklim değişikliği ile mücadele güçlenmiş, doğa temelli çözümler ve mekânsal analizlerle desteklenmiş hale gelecektir.

Bu çalışmada, ekosistem hizmetleri ve doğal sermayenin mekânsal modelleme araçları üzerinden değerlendirilmesi üzerine odaklanılmış, ancak piyasa fiyatı (market price), hasar maliyeti temelli (damage-based

valuation) ve toplam göreceli hizmet paketi (total relative bundled services) gibi ekonomik değerlendirme yöntemleri kapsam dışı bırakılmıştır. Gelecekte yapılacak çalışmalar kapsamında, ekosistem hizmetlerinin ekonomik değerlerinin daha geniş bir perspektifle ele alınması, bu yöntemlerin teorik ve uygulamalı olarak incelenmesi hedeflenmektedir.

Doğal sermayenin korunumu ve yönetimi için bilimsel verilere dayalı karar alma süreçleri uygulamaları günümüzde çevre politikalarının ana odağı haline gelmiştir. Makalede incelenen araçlar bu bilgi birikiminin oluşturulmasında kullanılan yenilikçi çözümler arasındadır. Türkiye’de, kültürel, biyolojik ve fiziksel varlığın korunumu ve yönetimi için bu araçların kullanımı ekosistem hizmet planlamalarında vazgeçilmez bir yere sahip olmalıdır; böylelikle kalkınma ile doğa arasındaki bağ güçlendirilir. Daha dengeli, bilimsel kanıtlara dayanan, uzun vadede takip edilebilir ve fayda görülebilir politikaların geliştirilebilmesi buna bağlıdır.

Kaynaklar

- Agarwala, M., Atkinson, G., Palmer, C., Fry, B., Homewood, K., Mourato, S., & Milner-Gulland, E. J. (2014). Natural capital: Using ecosystem service framework to inform policy. *Oxford Review of Economic Policy*, 30(1), 126–144.
- Aziz, T., & Van Cappellen, P. (2019). Comparative valuation of potential and realized ecosystem services in Southern Ontario, Canada. *Environmental Science & Policy*, 100, 105–112. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.06.011>
- Bagstad, K. J., Semmens, D. J., Waage, S., & Winthrop, R. (2013). A comparative assessment of decision-support tools for ecosystem services quantification and valuation. *Ecosystem Services*, 5, 27–39. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.07.004>
- Bagstad, K. J., Villa, F., Johnson, G. W., & Voigt, B. (2011). *ARIES – Artificial Intelligence for Ecosystem Services: A guide to models and data* (Version 1.0). ARIES Report Series No.1. ARIES Consortium.
- Bagstad, K. J., Balbi, S., Adamo, G., et al. (2025). Interoperability for ecosystem service assessments: Why, how, who, and for whom? *Ecosystem Services*, 72, 101705.
- Başak, E., Çetin, N. İ., Vatandaşlar, C., Pamukcu-Albers, P., Karabulut, A. A., Demirbaş Çağlayan, S., ... & Atkin, G. (2022). Ecosystem services studies in Turkey: A national-scale review. *Science of The Total Environment*, 844, 157068. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157068>
- Choi, C. Y., Kim, H., & Lee, D. K. (2018). Identifying priority areas for ecosystem services using ecosystem service bundles: A case study in South Korea. *Ecological Indicators*, 89, 745–754. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.02.008>
- Costanza, R., d’Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., ... & Belt, M. (1997). The value of the world’s ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Daily, G. C., Polasky, S., Goldstein, J., Kareiva, P. M., Mooney, H. A., Pejchar, L., ... & Shallenberger, R. (2009). Ecosystem services in decision making: Time to deliver. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(1), 21–28. <https://doi.org/10.1890/080025>
- Guerry, A. D., Polasky, S., Lubchenco, J., Chaplin-Kramer, R., Daily, G. C., Griffin, R., ... & Vira, B. (2015). Natural capital and ecosystem services informing decisions: From promise to practice. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(24), 7348–7355. <https://doi.org/10.1073/pnas.1503751112>
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2010). The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. In D. Raffaelli & C. Frid (Eds.), *Ecosystem ecology: A new synthesis* (pp. 110–139). Cambridge University Press.
- Hemati, A., Karami, M., & Khorasani, N. (2020). Identifying hotspots of ecosystem services and ecological conservation under land-use change scenarios using Co\$ting Nature model. *Environmental Earth Sciences*, 79, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09182-w>
- IPBES. (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, & H. T. Ngo, Eds.). IPBES Secretariat.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press.
- Mulligan, M., & van Soesbergen, A. (2017). Mapping ecosystem services in the Volta Basin using the Co\$ting Nature ecosystem service assessment model. *CGIAR Research Program on Water, Land and Ecosystems (WLE)*. Colombo, Sri Lanka.
- Mulligan, M., et al. (2010). *Co\$ting Nature: A policy support system for ecosystem services and conservation*. King’s College London & AmbioTEK.

- Natural Capital Project. (2023). *InVEST user guide: Integrated valuation of ecosystem services and tradeoffs*. Stanford University. <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>
- Nelson, E., Mendoza, G., Regetz, J., Polasky, S., Tallis, H., Cameron, D. R., ... & Shaw, M. R. (2009). Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and trade-offs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(1), 4–11. <https://doi.org/10.1890/080023>
- Ruckelshaus, M., McKenzie, E., Tallis, H., Guerry, A., Daily, G., Kareiva, P., ... & Bernhardt, J. (2015). Notes from the field: Lessons learned from using ecosystem service approaches to inform real-world decisions. *Ecological Economics*, 115, 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.07.009>
- TEEB – The Economics of Ecosystems and Biodiversity. (2010). *Mainstreaming the economics of nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB*. Malta: Progress Press.
- Tonyaloğlu, E. E. (2025). Future land use/land cover and its impacts on ecosystem services: Case of Aydın, Turkey. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 22, 4601–4617. <https://doi.org/10.1007/s13762-024-05907-y>
- Türkiye Cumhuriyeti. (2018). *Ulusal Biyolojik Çeşitlilik Stratejisi ve Eylem Planı 2018–2028*. Tarım ve Orman Bakanlığı, Doğa Koruma ve Millî Parklar Genel Müdürlüğü. <https://faolex.fao.org>
- United Nations. (2021). *System of environmental-economic accounting – Ecosystem accounting (SEEA EA)*. United Nations.
- Villa, F., Bagstad, K. J., Voigt, B., Johnson, G. W., Portela, R., Honzák, M., & Batker, D. (2014). A methodology for adaptable and robust ecosystem services assessment. *PLOS ONE*, 9(3), e91001. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091001>
- Villa, F., Balbi, S., Bulckaen, A., & Ochoa, A. (2021). Artificial intelligence technology for rapid natural capital accounting: The ARIES for SEEA Explorer. *BC3 Policy Briefing*. Basque Centre for Climate Change (BC3).
- Willcock, S., Hooftman, D., Blanchard, R., Dawson, T. P., Hickler, T., Lindeskog, M., ... & Bullock, J. M. (2020). Ensembles of ecosystem service models can improve accuracy and indicate uncertainty. *Science of the Total Environment*, 747, 141006. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141006>
- Uluç, S. M. (2022). Doğal sermaye muhasebesi ile ilgili çalışmaların betimsel bir içerik analizi ile değerlendirilmesi. *Academic Social Resources Journal*, 7(40), 883–890. <https://doi.org/10.29228/ASRJ.63471>
- IUCN. (2020). *Global Standard for Nature-based Solutions*. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.08.en>
- UNEP. (2021). *State of finance for nature 2021*. <https://www.unep.org/resources/state-finance-nature>
- Sharp, R., Chaplin-Kramer, R., Wood, S. A., et al. (2020). *InVEST 3.9.1 User's Guide. The Natural Capital Project*. <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>
- Mulligan, M. (2018). *Documentation for the Co\$tingNature Model V3*. King's College London. <http://www.policysupport.org/costingnature>
- Mulligan, M. (2015). *WaterWorld and Co\$ting Nature: Web-Based Policy Support Systems*. Paper presented at the 2015 AAAS Annual Meeting, San Jose, CA, USA. <https://aaas.confex.com/aaas/2015/webprogram/Paper14868.html>
- Neugarten, R. A., Honzak, M., Carret, P., Koenig, K., Andriamaro, L., Cano, C. A., Grantham, H. S., Hole, D., Juhn, D., McKinnon, M., Rasolohery, A., Steininger, M., Wright, T. M., & Turner, W. R. (2016). Rapid Assessment of Ecosystem Service Co-Benefits of Biodiversity Priority Areas in Madagascar. *PLOS ONE*, 11(12), e0168575. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0168575>
- Obst, C., Hein, L., & Edens, B. (2015). National accounting and the valuation of ecosystem assets and their services. *Environmental and Resource Economics*, 64(1), 1–23. <https://doi.org/10.1007/s10640-015-9921-1>

- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2023). *On İkinci Kalkınma Planı (2024 - 2028)*. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/12/On-Ikinci-Kalkinma-Plani_2024-2028_11122023.pdf
- Martínez-López, J., Bagstad, K. J., Balbi, S., Magrath, A., Voigt, B., Athanasiadis, I. N., Pascual, M., Willcock, S., & Villa, F. (2019). Towards globally customizable ecosystem service models. *Science of the Total Environment*, 650(2), 2325–2336. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.371>
- ARIES Consortium. (n.d.). *ARIES: Artificial Intelligence for Ecosystem Services*. <https://aries.integratedmodelling.org>
- Pamukçu Albers, P., Lise, Y., Balkız, Ö., Demirbaş Çağlayan, S., & Zeydanlı, U. (2018). *Akdeniz Entegre Orman Yönetimi Projesi: Bir Planlama Aracı Olarak Orman Ekosistemi Ürün ve Hizmetleri*. www.dkm.org.tr
- Co\$tingNature for TNFD*. (n.d.). Retrieved April 26, 2025, from <https://www.policysupport.org/costingnature/CN4TNFD>
- Çiçekalan, B., Özgün, H., & Öztürk, İ. (2023). Ekosistem Hizmetlerinin Sağladığı Doğal Sermaye. *Çevre İklim ve Sürdürülebilirlik*, 24(1), 7-16.
- Kalfa, V. R. (2025). Sulak Alanlarda Ekonomik Değerleme. *The Journal of Social Science*, 9(17), 105-119
- Gürlük, S. (2006). Manyas Gölü ve Kuş Cenneti'Nin Çevresel Değerlemesi Üzerine Bir Araştırma (Doctoral dissertation, Bursa Uludağ Üniversitesi, Türkiye).
- Bann, C., & Başak, E. (2013a). *Economic Analysis of Fethiye-Göcek Special Environmental Protection Area*. Project PIMS 3697: The Strengthening the System of Marine and Coastal Protected Areas of Turkey.
- Bann, C., & Başak, E. (2013b). *Economic Analysis of Köyceğiz-Dalyan Special Environmental Protection Area*. Project PIMS 3697: The Strengthening the System of Marine and Coastal Protected Areas of Turkey.
- Bann, C., & Başak, E. (2013c). *Economic Analysis of Datça-Bozburun Special Environmental Protection Area*. Project PIMS 3697: The Strengthening the System of Marine and Coastal Protected Areas of Turkey.
- Çağlayan, S.D., Balkız, Ö., Arslantaş, F., Sanalan, K.C., Lise, Y., Zeydanlı, U. 2020. *Şehir Planlama Aracı Olarak Ekosistem Hizmetleri: Çankaya İlçesi Örneği* (236 sayfa). Ankara: Doğa Koruma Merkezi,
- European Commission (EC) (2013): *Commission Staff Working Document. Technical information on Green Infrastructure (GI)*. Brussels, 6.5.2013. SWD (2013) 155 final. Çeviri: DKM, 2019. <https://www.dogavesehirler.org/yayinlar>
- Uçar, E. S. (2021). Kentsel yeşil alanların ekosistem hizmetleri kapsamında değerlendirilmesi: Üsküdar Fethipaşa Korusu örneği (Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Türkiye).
- Ersoy Mirici M., ve Berberoğlu S. (2020). Küresel İklim Değişikliği Çerçevesinde Doğu Akdeniz Bölgesi Ekosistem Hizmetlerinin Karbon Temelli Modellenmesi, *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 39(10).
- Harrison, P. A., Berry, P. M., Simpson, G., Haslett, J. R., Blicharska, M., Bucur, M., ... & Turkelboom, F. (2014). Linkages between biodiversity attributes and ecosystem services: A systematic review. *Ecosystem services*, 9, 191-203.
- Su, Q., Chang, H., & Pai, S. (2022). A Comparative Study of the Resilience of Urban and Rural Areas under Climate Change. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19. <https://doi.org/10.3390/ijerph19158911>.
- Brandon, C., Brandon, K., Fairbrass, A., & Neugarten, R. (2021). Integrating natural capital into national accounts: Three decades of promise and challenge. *Review of Environmental Economics and Policy*, 15(1), 134–153. <https://doi.org/10.1086/713075>

- Capriolo, A., Boschetto, R., Mascolo, R., Balbi, S., & Villa, F. (2020). Biophysical and economic assessment of four ecosystem services for natural capital accounting in Italy. *Ecosystem Services*, 46, 101207. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101207>
- Hein, L., Bagstad, K., Edens, B., Obst, C., De Jong, R., & Lesschen, J. (2016). Defining ecosystem assets for natural capital accounting. *PLOS ONE*, 11(10), e0164460. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164460>
- Hein, L., Bagstad, K., Obst, C., Edens, B., Schenau, S., Castillo, G., Soulard, F., Brown, C., Driver, A., Bordt, M., Steurer, A., Harris, R., & Caparrós, A. (2020). Progress in natural capital accounting for ecosystems. *Science*, 367(6477), 514–515. <https://doi.org/10.1126/science.aaz8901>
- Hein, L., Remme, R., Schenau, S., Bogaart, P., Lof, M., & Horlings, E. (2020). Ecosystem accounting in the Netherlands. *Ecosystem Services*, 44, 101118. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101118>
- NEA Initiative. (n.d.). *Home - NEA Initiative*. Erişim 27 Nisan, 2025, <https://www.ecosystemassessments.net/>
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı. (2023). *İstanbul Sürdürülebilir Enerji ve İklim Eylem Planı (SECAP)*. <https://cevre.ibb.istanbul/wp-content/uploads/2024/03/SECAP-TR-1.pdf>
- Maes, J., Egoh, B., Willemsen, L., Liqueste, C., Vihervaara, P., Schägner, J. P., Grizzetti, B., Drakou, E. G., Notte, A. La, Zulian, G., Bouraoui, F., Luisa Paracchini, M., Braat, L., & Bidoglio, G. (2012). Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union. *Ecosystem Services*, 1(1), 31–39. <https://doi.org/10.1016/J.ECOSER.2012.06.004>
- Maes, Joachim., Fabrega, Nina., Zulian, Grazia., Barbosa, Ana., Vizcaino, Pilar., Ivits, Eva., Polce, Chiara., Vandecasteele, Ine., Rivero, I. M. ., Guerra, Carlos., Perpiña Castillo, Carolina., Vallecillo, Sara., Baranzelli, Claudia., Barranco, Ricardo., Batista e Silva, Filipe., Jacobs-Crisoni, Chris., Trombetti, Marco., & Lavallo, Carlo. (2015). *Mapping and assessment of ecosystems and their services: trends in ecosystems and ecosystem services in the European Union between 2000 and 2010*. Publications Office of the European Union.
- Schröter, M., Albert, C., Marques, A., Tobon, W., Lavorel, S., Maes, J., Brown, C., Klotz, S., & Bonn, A. (2016). National Ecosystem Assessments in Europe: A review. *BioScience*, 66(10). <https://doi.org/10.1093/biosci/biw101>
- Sumarga, E., Hein, L., Edens, B., & Suwarno, A. (2015). Mapping monetary values of ecosystem services in support of developing ecosystem accounts. *Ecosystem Services*, 12, 71–83. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.02.009>
- UK National Ecosystem Assessment. (2011). *UK National Ecosystem Assessment Technical Report*. <http://uknea.unep-wcmc.org/>
- Vallecillo, S., La Notte, A., Zulian, G., Ferrini, S., & Maes, J. (2019). Ecosystem services accounts: Valuing the actual flow of nature-based recreation from ecosystems to people. *Ecological Modelling*, 392, 196–211. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.09.023>
- Wilson, L., Mapendembe, A., Booth, H., Brown, C., & Tierney, M. (2014). *The Role of National Ecosystem Assessments in Influencing Policy Making* (OECD Environment Working Papers, Vol. 60). <https://doi.org/10.1787/5jxv13zsbhkk-en>
- Yıldırak, K., & Seyhun, Ö. K. (2025). Refining ESG models: embedding natural capital valuation beyond box-ticking compliance towards confronting planetary boundaries. IFC Bulletins chapters, 63.