Artvin Çoruh Üniversitesi
Orman Fakültesi Dergisi
ISSN:2146-1880, e-ISSN: 2146-698X
Yıl: 2026, Cilt: 27, Sayı:2, Sayfa:1-13

ofd.artvin.edu.tr

Artvin Coruh University
Journal of Forestry Faculty
ISSN:2146-1880, e-ISSN: 2146-698X
Year: 2026, Vol: 27, Issue2, Pages:1-13

Biyomimikri Yaklaşımının Sürdürülebilir Orman Yönetimine Entegrasyonu: İlke, Uygulama Alanları ve Ölçülebilir Bir Çerçeve

Integration of the Biomimicry Approach into Sustainable Forest Management: Principles, Application Areas, and a Measurable Framework

Ayşe Esra HAKVERDİ[1*]

[1]Yozgat Bozok Üniversitesi, Boğazlıyan Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, Ormancılık ve Orman Ürünleri Programı, Yozgat

Eser bilgisi/*Article info*
Derleme/*Review*
DOI: 10.17474/artvinofd.1902745

*Sorumlu yazar/*Corresponding author*
Ayşe Esra HAKVERDİ
e-mail: a.esra.hakverdi@bozok.edu.tr

Gönderilme tarihi/*Submission date*
04.03.2026
Kabul tarihi/*Acceptance date*
20.04.2026
Yayımlanma tarihi/*Publication date*
14.05.2026

Anahtar Kelimeler:
Biyomimikri
Sürdürülebilir orman yönetimi
Ekosistem temelli yönetim
Doğaya yakın ormancılık

Keywords:
Biomimicry
Sustainable forest management
Ecosystem-based management
Near natural forestry

Öz

Sürdürülebilir orman yönetimi (SOY), ekolojik bütünlüğü korurken sosyo-ekonomik faydaları dengelemeyi amaçlayan çok boyutlu bir yaklaşımdır. Ancak geleneksel üretim odaklı ormancılık uygulamaları, çoğu zaman doğal ekosistem süreçlerini göz ardı etmiş; bu durum biyolojik çeşitlilik kaybı, toprak bozulması ve iklim değişikliğine karşı kırılganlığın artması ile ilişkilendirilmektedir. Biyomimikri, doğadaki yapı, süreç ve ekosistem ilişkilerini model alarak sürdürülebilir çözümler geliştiren disiplinlerarası bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, biyomimikri ilkelerinin SOY'ne entegrasyonu kavramsal olarak incelenmiş; silvikültür, toprak ve besin döngüsü yönetimi, yangın yönetimi ve su-erozyon kontrolü boyutlarında uygulanabilirliği sistematik olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, biyomimikri temelli yaklaşımların ekosistem direncini artırabileceğini, karbon depolama kapasitesini güçlendirebileceğini ve iklim değişikliğine uyum sağlayan daha dayanıklı orman peyzajları oluşturabileceğini göstermektedir.

Abstract

Sustainable forest management is a multidimensional approach that aims to balance socio-economic benefits with the preservation of ecological integrity. However, traditional production-oriented forestry practices have often overlooked natural ecosystem processes, resulting in biodiversity loss, soil degradation, and increased vulnerability to climate change. Biomimicry has emerged as an interdisciplinary approach that develops sustainable solutions by modeling the structures, processes, and ecological relationships found in nature. In this study, the integration of biomimicry principles into sustainable forest management is examined conceptually, and its applicability is discussed in the context of silviculture, soil and nutrient cycle management, fire management, and water–erosion control. The findings indicate that biomimicry-based approaches can enhance ecosystem resilience, strengthen carbon storage capacity, and promote more climate-resilient forest landscapes.

GİRİŞ

Ormancılık, son yüzyılda üretim odaklı bir faaliyet alanından çok işlevli ekosistem yönetimi disiplinine doğru evrilmiştir. Ormanlar yalnızca odun üreten kaynaklar değil; karbon yutağı, su döngüsünün düzenleyicisi, biyolojik çeşitlilik rezervuarı ve iklim istikrarının temel bileşenleri olarak tanımlanmaktadır. Ancak iklim değişikliği, arazi kullanım baskıları, artan yangın riski ve habitat parçalanması gibi stresörler, klasik "maksimum verim" odaklı ormancılık anlayışının sürdürülebilirlik açısından sınırlarını görünür kılmıştır. Bu durum, yönetim paradigmalarında yeni bir yaklaşım ihtiyacını doğurmuştur (Holling, 1973; Lindenmayer ve Franklin, 2013; Messier vd., 2013). Son yıllarda ormancılıkta doğaya yakın yaklaşımlar ve ekosistem temelli yönetim modelleri giderek daha fazla önem kazanmıştır. Ormanların karmaşık uyarlanabilir sistemler olarak görülmesi, orman tasarımı ve karar süreçlerinin yalnızca odun üretimine odaklanmaktan çıkarak ekosistem fonksiyonlarını bütüncül olarak dikkate almasını zorunlu kılmıştır (Messier vd., 2013; Nocentini vd., 2017). Bu gelişmelere paralel olarak, biyomimikri doğadaki süreç ve ilişkilerden sistematik biçimde ilham almayı hedefleyen disiplinlerarası bir çerçeve sunarak ormancılık uygulamalarına yenilikçi bir model sağlamaktadır (Benyus, 1997).

 Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi Creative Commons Alıntı 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.

Raman vd. (2024), biyomimikrinin özellikle Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) ile güçlü biçimde örtüştüğünü ve iki ana tematik küme oluşturduğunu göstermiştir: Birincisi, sağlık, ortaklıklar ve karasal yaşam (SKA 15) odaklı küme; ikincisi ise temiz su, enerji ve altyapı odaklı kümedir. Bu bulgular, biyomimikrinin arazi ve orman yönetimi için stratejik bir çerçeve sunduğunu göstermektedir. Aynı çalışma, biyomimikrinin sürdürülebilir etki yaratabilmesi için döngüsel tasarım ile ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Doğada atık kavramının bulunmadığını, her çıktının başka bir sürecin girdisi olduğunu belirten Raman vd. (2024), biyomimikri ile döngüsel ekonomi arasındaki sinerjinin çevresel dayanıklılığı artıracağını savunmaktadır. Bu yaklaşım, ormancılık açısından özellikle anlamlı olmaktadır. Çünkü orman ekosistemleri doğal olarak döngüsel süreçlere dayanmaktadır (Raman vd., 2024).

Biyomimikri ile ormancılık arasındaki en temel kavramsal bağlantılardan biri dayanıklılık kavramıdır. Holling (1973), orman ekosistemlerinin durağan bir denge hâlinde bulunmadığını; aksine sürekli değişim gösteren karmaşık uyarlanabilir sistemler olduğunu ortaya koymuştur. Bu çerçevede Fadok (2022), dayanıklılık kavramını biyomimikri literatürüyle ilişkilendirerek, dayanıklılığın yalnızca dışsal baskılara ve ani çevresel streslere direnme kapasitesi değil, aynı zamanda yangın, kuraklık ya da zararlı salgınları gibi bozulma süreçleri sonrasında da yeniden örgütlenebilme ve işlevsel bütünlüğünü sürdürebilme yeteneği olduğunu vurgulamaktadır. Bu bakış açısı, biyomimikrinin ormancılıkta neden kritik bir yaklaşım sunduğunu açıkça göstermektedir. Burada temel amaç yalnızca odun üretimini maksimize etmek değil, ekosistem süreçlerinin sürekliliğini ve işlevsel bütünlüğünü korumaktır (Holling, 1973; Fadok, 2022).

Literatür, biyomimikrinin çoğu zaman yüzeysel biçimde uygulandığını da göstermektedir. Sharma ve Sarkar (2019), birçok "biyomimetik" tasarımın yalnızca biçim taklidi yaptığını; ekosistem süreçlerini, ölçek sorunlarını ve bağlamsal uygunluğu dikkate almadığını belirtmiştir. Yazarlar, biyomimikrinin gerçek sürdürülebilirlik üretmesi için disiplinlerarası bilgi, standartlaşmış yöntemler ve ekosistem temelli düşünme gerektiğini savunmaktadır (Sharma ve Sarkar, 2019).

Bu çalışma nitel literatür taramasına dayalı kavramsal boyutta bir derleme çalışmasıdır. Web of Science, Scopus ve Google Scholar veri tabanlarında "biomimicry", "sustainable forest management", "ecosystem resilience" anahtar kelimeleri kullanılarak 1990–2025 yılları arasında yayımlanmış çalışmalar incelenmiştir. Bu makalenin amacı; biyomimikrinin ormancılıkta yalnızca kavramsal bir ilham kaynağı olarak kalmasının ötesine geçerek, planlama–uygulama–izleme döngüsüne sistematik ve operasyonel biçimde nasıl entegre edilebileceğini ortaya koymaktır.

BİYOMİMİKRİ: ORMANCILIK AÇISINDAN KURAMSAL TEMELLER

Bu çalışma biyomimikriyi ormancılık açısından üç temel düzeyde ele almaktadır: (1) kavramsal düzey, (2) ekosistem düzeyi ve (3) uygulama düzeyi. Kavramsal düzey doğa–model, doğa–ölçüt ve doğa–mentor yaklaşımını içerirken; ekosistem düzeyi dayanıklılık, çeşitlilik, su yönetimi ve döngüsellik gibi temel ekolojik süreçlere odaklanmaktadır. Uygulama düzeyi ise yangın yönetimi, İHA tabanlı izleme sistemleri, silvikültür planlaması ve orman ürünleri değer zinciri gibi somut yönetim alanlarını kapsamaktadır. Bu üçlü yapı, biyomimikrinin yalnızca teorik bir kavram olmadığını; ormancılık yönetimi, teknoloji kullanımı ve sürdürülebilir üretim sistemleri açısından bütüncül bir çerçeve sunduğunu göstermektedir.

Kavramsal Düzey

Biyomimikri literatürünün merkezinde yer alan temel yaklaşım "doğa modeldir, doğa ölçüttür ve doğa mentordur" ilkelerine dayanmaktadır (Benyus, 1997; Dicks, 2016; Oguntona ve Aigbavboa, 2023). Bu yaklaşım doğayı yalnızca teknik çözümler için ilham alınan bir kaynak olarak değil, aynı zamanda sürdürülebilirliğin değerlendirilmesinde bir referans sistemi ve etik rehber olarak görür. Böylece biyomimikri, doğanın milyonlarca yıllık evrimsel deneyiminden öğrenmeyi amaçlayan bir tasarım ve yönetim yaklaşımı hâline gelir.

Doğa modeldir ilkesi, insan yapımı sistemlerin doğal sistemlerin işleyiş mantığını inceleyerek benzer işlevleri daha sürdürülebilir biçimde üretmesini ifade eder (Benyus, 1997). Bu bağlamda doğal orman ekosistemleri biyomimikri açısından güçlü modeller sunmaktadır. Ormanlar güneş enerjisiyle çalışan, kapalı madde döngülerine sahip, çok katmanlı yapı oluşturan ve yüksek biyolojik çeşitlilik sayesinde dış baskılara karşı dayanıklılık geliştiren sistemlerdir. Bu özellikler sürdürülebilir tasarım açısından önemli ipuçları sunmaktadır.

Orman ekosistemlerinde enerji kullanımı büyük ölçüde güneş enerjisine dayanır. Bitkiler fotosentez yoluyla güneş enerjisini biyokütleye dönüştürür ve bu enerji ekosistem içinde farklı trofik seviyeler arasında aktarılır. Bu durum biyomimikrinin düşük enerji kullanımı ve yüksek verimlilik ilkeleriyle uyumludur (Raman vd., 2024). Doğal ekosistemlerde ayrıca atık kavramı bulunmaz; bir organizmanın çıktısı başka bir organizmanın girdisi olur. Bu döngüsel yapı ekosistemlerin sürdürülebilirliğini sağlayan temel mekanizmalardan biridir.

Ormanların bir diğer önemli özelliği çok katmanlı yapılarıdır. Ağaç katmanı, çalı katmanı, otsu bitkiler ve toprak mikroorganizmalarından oluşan bu yapı, ışık, su ve besin gibi kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlar (Nehizena, 2022). Aynı zamanda tür çeşitliliği ve yapısal heterojenlik ekosistem dayanıklılığını artırır. Holling (1973), ekosistemlerin statik değil, değişen çevresel koşullara uyum sağlayabilen karmaşık uyarlanabilir sistemler olduğunu göstermiştir. Fadok (2022) ise çeşitlilik, dağıtıklık ve yedekliliğin dayanıklılığın temel bileşenleri olduğunu vurgulamaktadır.

Bu özellikler ormancılık uygulamaları açısından önemli çıkarımlar sunmaktadır. Tek tür ve tek yaşlı monokültür plantasyonlar kısa vadede yüksek üretim sağlayabilse de ekolojik açıdan daha kırılgan sistemler oluşturabilir. Buna karşılık karışık meşcereler ve farklı yaş sınıflarından oluşan orman yapıları habitat çeşitliliğini artırır, su tutma kapasitesini güçlendirir ve ekosistem dayanıklılığını yükseltir (Puettmann vd., 2013). Bu nedenle biyomimikri perspektifi silvikültür planlamasında doğal orman yapılarının model alınmasını teşvik etmektedir.

Doğa modeldir ilkesinin teknolojik uygulamalarından biri de mekânsal veri organizasyonunda görülebilir. Doğada yaygın olarak bulunan bal peteği şeklindeki hekzagon geometrisi alan kullanımında yüksek verimlilik sağlar. Bu nedenle mühendislik ve veri organizasyonu alanlarında da kullanılmaktadır. Imeraj vd. (2021), İHA tabanlı yangın izleme sistemlerinde bu geometriden yararlanarak veri tekrarını azaltmış ve hesaplama verimliliğini artırmıştır. Dairesel veri kapsama alanlarının hekzagonal ızgaraya dönüştürülmesiyle yaklaşık %83 oranında daha etkin veri temsili sağlandığı rapor edilmiştir. Bu yaklaşım, biyomimikrinin ormancılıkta yalnızca teorik değil aynı zamanda teknolojik çözümler üretebilen bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Doğa ölçüttür ilkesi ise yönetim ve tasarım kararlarının doğanın performans standartlarına göre değerlendirilmesi gerektiğini savunur (Benyus, 1997). Bu yaklaşımda temel soru yalnızca “işe yarıyor mu?” değil aynı zamanda “doğal sistemlerle uyumlu mu?” sorusudur. SOY açısından bu yaklaşım büyük önem taşımaktadır. Çünkü ormancılık uygulamaları çoğu zaman ekonomik verim kriterleri üzerinden değerlendirilirken ekosistem bütünlüğü ikinci planda kalabilmektedir.

Doğa ölçüt yaklaşımı yönetim kararlarının biyolojik çeşitlilik, toprak sağlığı, su rejimi ve karbon depolama gibi ekosistem göstergeleri üzerinden değerlendirilmesini gerektirir. Raman vd. (2024), biyomimikrinin sürdürülebilirlik etkisinin özellikle döngüsel tasarım yaklaşımlarıyla birlikte ele alındığında güçlendiğini göstermiştir. Bu durum, orman ürünleri değer zinciri açısından da önemlidir. Ahşap yalnızca kesilip tüketilen bir hammadde değil, uzun ömürlü ürünler aracılığıyla karbonun sistem içinde tutulmasını sağlayan bir malzeme olarak değerlendirilebilir. Bumgardner ve Nicholls (2020), dayanıklı ahşap ürünlerin karbonu uzun süre depolayabildiğini ve iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Bu nedenle sürdürülebilir ormancılık yalnızca ormandaki karbon stokunu değil, aynı zamanda ahşap ürünlerin yaşam döngüsü boyunca karbon depolama kapasitesini de dikkate almak zorundadır.

Doğa mentordur yaklaşımı biyomimikrinin etik ve kültürel boyutunu temsil eder. Bu perspektifte doğa sömürülecek bir kaynak değil, öğrenilecek bir öğretmen olarak görülür (Benyus, 1997). Böylece insan-doğa ilişkisi araçsal bir ilişkiden karşılıklı öğrenmeye dayalı bir ilişkiye dönüşür. Bu yaklaşım ormancılıkta yönetim anlayışını da etkileyerek doğayı yalnızca yönetilen bir nesne değil, yönetimi yönlendiren bir referans sistemi olarak konumlandırır.

Kurumsal ve eğitim alanındaki çalışmalar bu yaklaşımın önemli etkiler yarattığını göstermektedir. McInerney ve Niewiarowski (2022), biyomimikri temelli eğitimlerin sürdürülebilirlik farkındalığını artırdığını, doğayla yeniden bağ kurulmasını teşvik ettiğini ve çevresel sorumluluk bilincini güçlendirdiğini ortaya koymuştur. Katılımcılar doğayı yalnızca teknik bir model değil aynı zamanda etik bir rehber olarak değerlendirmeye başladıklarını ifade etmiştir.

Biyomimikri güçlü bir kavramsal çerçeve sunsa da uygulamada bazı sınırlılıklar bulunmaktadır. Sharma ve Sarkar (2019), birçok biyomimetik uygulamanın doğanın yalnızca biçimsel özelliklerini taklit etmekle sınırlı kaldığını ve ekosistem süreçlerini yeterince dikkate almadığını belirtmektedir. Bu nedenle biyomimikri uygulamalarının disiplinlerarası yaklaşımlarla desteklenmesi ve ekolojik göstergelerle değerlendirilmesi gerekmektedir (Messier vd., 2013).

Ekosistem Düzeyi

Ekosistem düzeyinde biyomimikri ormancılığı yalnızca ağaç üretimine odaklanan bir faaliyet olmaktan çıkararak ekosistem süreçlerinin yönetimine yönlendirir. Ormanlar karmaşık uyarlanabilir sistemlerdir ve sürdürülebilirlik yalnızca üretim verimliliğiyle değil sistemin dayanıklılığıyla ölçülmelidir (Holling, 1973).

Su döngüsü, toprak sağlığı ve biyolojik çeşitlilik bu düzeyin temel bileşenleri arasında yer almaktadır. Doğal ormanlar yağışı depolayan ve kademeli olarak salan ekolojik sünger işlevi görür. Bu durum toprak organik maddesinin korunmasını, ölü örtünün bırakılmasını ve seçme kesim gibi düşük etkili silvikültür uygulamalarını destekler (Nehizena, 2022). Buna karşılık yoğun mekanizasyon uygulamaları ve geniş alanlı kesimler su tutma kapasitesini zayıflatabilir ve erozyon riskini artırabilir. Biyolojik çeşitlilik ve yapısal heterojenlik ekosistem dayanıklılığının temel unsurlarıdır. Tür çeşitliliği ve farklı yaş sınıflarından oluşan mozaik peyzaj yapıları yangın ve zararlı baskılarına karşı tampon görevi görür. Messier vd. (2019), karmaşık uyarlanabilir sistemler olarak ormanların monokültür plantasyonlara kıyasla iklim değişikliğine daha dayanıklı olduğunu göstermiştir.

Döngüsellik ilkesi de ekosistem düzeyinde önemli bir rol oynamaktadır. Doğada atık kavramı bulunmaz ve madde döngüleri kapalı sistemler hâlinde çalışır. Biyomimikri yaklaşımı bu ilkeyi ormancılık ve orman ürünleri yönetimine taşımayı amaçlar. Raman vd. (2024), biyomimikrinin sürdürülebilirlik etkisinin döngüsel tasarım yaklaşımlarıyla güçlendiğini göstermiştir.

Uygulama Düzeyi

Biyomimikri ormancılıkta doğrudan uygulanabilir çözümler sunan bir yaklaşımdır. Yangın risk yönetimi, silvikültür planlaması ve orman ürünleri değer zinciri bu uygulama alanlarının başlıcalarıdır. Yangın risk yönetiminde biyomimetik veri organizasyonu önemli fırsatlar sunmaktadır. Imeraj vd. (2021), İHA tabanlı yangın izleme sistemlerinde hekzagonal veri örgütleme yönteminin veri tekrarını azaltarak analiz hızını artırdığını göstermiştir. Bu yaklaşım gerçek zamanlı risk analizini kolaylaştırmakta ve erken uyarı sistemlerini güçlendirmektedir.

Silvikültür planlamasında biyomimikri doğal ormanların heterojen yapısını model almayı önerir. Karışık meşcereler, farklı yaş sınıfları ve mozaik kesim uygulamaları ekosistem dayanıklılığını artırabilir (Nehizena, 2022). Bu yaklaşım Holling'in dayanıklılık kavramı ve Fadok'un çeşitlilik–dağıtıklık–yedeklilik ilkeleriyle uyumludur.

Orman ürünleri açısından biyomimikri döngüsel değer zinciri yaklaşımını destekler. Uzun ömürlü ahşap ürünler karbonun uzun süre depolanmasını sağlayarak iklim değişikliğiyle mücadeleye katkıda bulunabilir (Bumgardner ve Nicholls, 2020). Bu nedenle sürdürülebilir ormancılık yalnızca orman yönetimini değil, ürün tasarımı ve geri kazanım süreçlerini de kapsayan bütüncül bir sistem gerektirir (Raman vd., 2024). Genel olarak değerlendirildiğinde biyomimikri ormancılıkta üç düzeyde katkı sunmaktadır: teknolojik düzeyde izleme sistemlerinin gelişmesi (Imeraj vd., 2021), ekosistem düzeyinde dayanıklı orman yapılarının teşvik edilmesi (Messier vd., 2019; Nehizena, 2022) ve değer zinciri düzeyinde döngüsel ahşap ürünlerinin geliştirilmesi (Bumgardner ve Nicholls, 2020; Raman vd., 2024). Bu bütüncül yaklaşım biyomimikrinin ormancılıkta hem önleyici hem de yenileyici bir yönetim stratejisi sunduğunu göstermektedir.

BİYOMİMİKRİ TABANLI SÜRDÜRÜLEBİLİR ORMAN YÖNETİMİ ÇERÇEVESİ

Çerçevenin Gerekçesi

Sürdürülebilir orman yönetimi, 20. yüzyıl boyunca ağırlıklı olarak odun üretimi, koruma ve kullanım arasında denge kurmaya odaklanan bir çerçeve içinde şekillenmiştir. Bu yaklaşım, özellikle endüstriyel ormancılığın hâkim olduğu dönemlerde, üretim verimliliğini artırmayı ve orman kaynaklarının sürekliliğini güvence altına almayı amaçlamıştır (FAO, 2018). Ancak 21. yüzyılda iklim değişikliği, artan yangın riski, kitlesel böcek salgınları ve biyolojik çeşitlilik kaybı gibi çoklu stresörler, bu geleneksel modelin yeterliliğini ciddi biçimde zorlamaktadır (IPBES, 2019). Bu nedenle modern ormancılık literatürü, ormanların yalnızca yönetilen üretim alanları değil, karmaşık uyarlanabilir ekosistemler olarak ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır (Gunderson ve Holling, 2002).

Bu bağlamda biyomimikri, SOY için yeni bir kavramsal ve operasyonel çerçeve sunmaktadır. Biyomimikri, doğayı yalnızca teknik bir ilham kaynağı olarak değil, aynı zamanda performans ölçütü ve etik rehber olarak kabul eden bir yaklaşım geliştirmiştir (Vincent vd., 2006). Bu perspektif, ormancılıkta yönetim hedeflerini üç boyutlu bir çerçeveye taşır: ekolojik bütünlük, iklim uyumu ve toplumsal adalet. Böylece biyomimikri tabanlı sürdürülebilir orman yönetimi (SOY–BM), klasik "sürdürülebilir üretim" anlayışından "sürdürülebilir ekosistem işleyişi" anlayışına geçişi temsil eder.

Bu dönüşümün merkezinde dayanıklılık kavramı yer almaktadır. Holling (1973), ekosistemlerin durağan dengede olmadığını; aksine şoklara, bozulmalara ve değişimlere uyum sağlayabilen dinamik sistemler olduğunu göstermiştir. Bu çerçeve, ormancılıkta başarının yalnızca yıllık odun üretimiyle değil, ormanın yangın, kuraklık ve zararlı baskıları karşısında işlevlerini sürdürebilme kapasitesiyle ölçülmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Biyomimikri, bu dayanıklılık düşüncesini yönetim pratiğine entegre ederek, doğanın kendi kendini düzenleyen mekanizmalarını model almayı önerir.

Ayrıca peyzaj ekolojisi çalışmaları, ormanların parçalanmasının ekosistem hizmetlerini zayıflattığını ve habitat sürekliliğini bozduğunu göstermektedir (Turner, 2010). Bu nedenle SOY–BM, tekil meşcere düzeyinden ziyade peyzaj ölçeğinde düşünmeyi zorunlu kılar. Bu yaklaşım, biyomimikrinin "doğa modeldir" ilkesini mekânsal düzeyde uygulayarak, heterojen, bağlantılı ve mozaik peyzajların korunmasını teşvik eder. Biyomimikri ayrıca sürdürülebilirlik hedeflerini yalnızca teknik göstergelerle değil, etik ve kültürel değerlerle de ilişkilendirir. Vincent vd. (2006), biyomimikrinin insan–doğa ilişkisini yeniden çerçeveleyerek doğayı sömürülecek bir kaynak değil, öğrenilecek bir öğretmen olarak konumlandırdığını belirtmiştir. Bu bakış açısı, ormancılıkta yerel toplulukların bilgisine, kültürel peyzaj değerlerine ve katılımcı yönetime daha fazla önem verilmesini destekler.

Sonuç olarak, SOY–BM çerçevesinin gerekçesi üç temel noktada özetlenebilir:

(1) Geleneksel üretim odaklı ormancılık, iklim değişikliği koşullarında yetersiz kalmaktadır.
(2) Ormanlar karmaşık uyarlanabilir sistemlerdir ve dayanıklılık odaklı yönetim gerektirir.
(3) Biyomimikri, doğayı model–ölçüt–mentor olarak alarak ormancılıkta daha bütüncül bir yönetim paradigması sunar.

SOY–BM'nin Temel Bileşenleri

SOY–BM, doğanın işleyişini model alan, eksistem performansını ölçüt kabul eden ve etik sorumluluğu merkeze yerleştiren altı temel bileşenden oluşur. Bu bileşenler birbirini tamamlayan döngüsel bir yönetim mantığı oluşturur.

İşlev Odaklı Problem Tanımı

SOY–BM'nin ilk adımı, ormancılık sorunlarını biçim değil işlev üzerinden tanımlamaktır. Geleneksel yaklaşımda yönetim soruları çoğunlukla "ne kadar odun üretelim?" ya da "hangi türü dikelim?" şeklinde sorulurken, biyomimetik yaklaşım şu tür sorulara odaklanır:

- Orman yangınlarına karşı dayanıklılığı nasıl artırırız?
- Toprak ve su döngülerini nasıl güçlendiririz?
- Peyzaj bağlantılılığını nasıl koruruz?

Bu yönelim, uyarlanabilir yönetim anlayışıyla uyumludur (Walters, 1986). Walters'a göre karmaşık ekosistemlerde tek seferlik reçeteler yerine öğrenen, deneyen ve kendini güncelleyen yönetim sistemleri gereklidir. Bu nedenle SOY–BM'de hedefler üç boyutta tanımlanır:

(1) *Ekolojik hedefler*: biyolojik çeşitlilik, toprak sağlığı, su tutma kapasitesi, habitat sürekliliği,
(2) *İklim hedefleri*: karbon depolama, kuraklık ve yangına uyum,
(3) *Toplumsal hedefler*: yerel geçim, katılım, kültürel peyzaj değerleri (Walters, 1986).

Doğadan Analojik Öğrenme

İkinci bileşen, belirlenen işlev için doğadaki karşılıkların sistematik biçimde incelenmesidir. Vincent vd. (2006), biyomimikride üç aşamalı bir süreç önerir:

(1) Problemin işlevini net tanımla,
(2) Benzer işlevi doğada yerine getiren sistemleri bul,
(3) Bu sistemlerden soyut ilkeler çıkar ve tasarıma uygula.

Ormancılıkta bu süreç şu örneklerle uygulanabilir:

- Yangın dayanıklılığı için doğal mozaik peyzajlar,
- Su tutma için orman toprağının sünger benzeri yapısı,
- Alan verimliliği için doğadaki fraktal ve ağ yapıları model alınır (Vincent vd., 2006).

Bu aşamada doğa üç rolde kullanılır:

- *Model*: Nasıl çalıştığını anlamak,
- *Ölçüt*: "Doğa bunu kabul eder miydi?" sorusunu sormak,
- *Mentor***:** Etik rehberlik sağlamak (Vincent vd., 2006).

Bağlama Uygun Tasarım ve Silvikültür

Üçüncü bileşen, doğadan öğrenilen ilkelerin yerel ekosistem bağlamına uyarlanmasıdır. SOY–BM evrensel reçeteleri reddeder; çünkü her orman farklı iklim, toprak ve tür bileşimine sahiptir. Bu anlayış, doğal bozulma temelli ormancılık ile örtüşür. Kuuluvainen (2009), doğal yangın, rüzgâr devirmesi ve böcek döngülerini taklit eden silvikültür uygulamalarının hem biyoçeşitliliği hem de dayanıklılığı artırdığını göstermiştir. Buna göre biyomimetik silvikültür şu ilkeleri benimser:

- Monokültür yerine karışık meşcereler,
- Tek yaşlı yapı yerine çok yaşlı yapı,
- Geniş alan kesimleri yerine mozaik ve seçme kesim,
- Toprak organik maddesi ve ölü örtünün korunması (Kuuluvainen, 2009).

Bu yaklaşım, iklim değişikliği koşullarında kırılganlığı azaltır ve ekosistem dayanıklılığını artırır.

Teknolojiyle Biyomimetik İzleme

Dördüncü bileşen, biyomimikrinin teknolojiyle entegrasyonudur. Yangın yönetiminde İHA tabanlı izleme sistemleri buna örnektir. Imeraj vd. (2021), İHA verilerini hekzagonal ızgara yapısında düzenleyerek veri tekrarını azaltmış ve gerçek zamanlı analiz kapasitesini artırmıştır. Bu sayede:

- Yaklaşık %83 etkin veri temsili,
- Daha düşük hesaplama maliyeti,
- Daha hızlı erken uyarı sağlanmıştır (Imeraj vd., 2021).

SOY–BM'de teknoloji, doğayı taklit eden estetik bir araç değil, ekosistem dayanıklılığını güçlendiren operasyonel bir mekanizmadır.

Döngüsel Değer Zinciri

Beşinci bileşen, orman ürünlerini döngüsel ekonomi mantığıyla ele alır. Biyomimikri, "doğada atık yoktur" ilkesini ormancılığa taşır. Bu çerçevede üç aşamalı bir sistem önerilir:

(1) *Orman aşaması*: sürdürülebilir hasat, karbon yutağının korunması, habitat sürekliliği,
(2) *Ürün aşaması*: uzun ömürlü ahşap ürünler (yapı, mobilya),
(3) *Geri kazanım aşaması*: yeniden kullanım ve geri dönüşüm.

Bumgardner ve Nicholls (2020), uzun ömürlü ahşap ürünlerin karbonu yıllarca bünyesinde tutabildiğini ve iklim değişikliğiyle mücadelede kritik rol oynadığını göstermiştir. Raman vd. (2024) ise bu yaklaşımın döngüsel tasarımla birleştiğinde en yüksek sürdürülebilirlik etkisini yarattığını ortaya koymuştur (Bumgardner ve Nicholls, 2020; Raman vd., 2024).

Öğrenen ve Uyarlanabilir Yönetim

SOY–BM'nin son bileşeni, yönetimin öğrenen bir sistem olmasıdır. İzleme sonuçları düzenli olarak değerlendirilir ve uygulamalar güncellenir. Bu süreç üç döngü içerir:

(1) *Planla*: biyomimetik hedefleri belirle,
(2) *Uygula*: silvikültür ve teknolojiyle hayata geçir,
(3) *İzle–Uyumla*: ekosistem göstergelerine göre revize et.

Messier vd. (2013), bu tür uyarlanabilir yönetimin karmaşık ekosistemlerde en etkili strateji olduğunu göstermiştir.

SOY–BM'nin Beklenen Sonuçları

Biyomimikri Tabanlı Sürdürülebilir Orman Yönetimi Çerçevesi (SOY–BM), ormancılıkta beklenen çıktıları üç düzeyde üretmeyi hedefler:

- Ekosistem dayanıklılığı,
- İklim uyumu ve karbon yönetimi,
- Yönetişim ve toplumsal sürdürülebilirlik.

Bu üç düzey, orman ekosistem hizmetlerinin sürekliliğini güvence altına alacak şekilde birbirini tamamlar (Noss, 1999; Seidl vd., 2016).

Ekosistem Dayanıklılığının Güçlenmesi

SOY–BM'nin temel sonucu, orman ekosistemlerinin yangın, kuraklık, fırtına ve zararlı baskıları gibi değişen bozulma rejimleri karşısında işlevlerini sürdürebilme kapasitesini artırmaktır (Seidl vd., 2016). Doğal süreçleri model alan mozaik peyzajlar, karışık meşcereler ve çok yaşlı yapılar, zararlı salgınları ve yangın gibi büyük ölçekli bozulmalar karşısında risk dağıtımını güçlendirir (Lindenmayer ve Franklin, 2013). Bu yaklaşım, tek tür–tek yaşlı plantasyonların sistemik kırılganlığını azaltarak ekosistem işlevlerinin sürekliliğini destekler.

Ayrıca doğal bozulma dinamiklerini dikkate alan yönetim, biyoçeşitlilik için kritik olan yapısal karmaşıklığı (ölü odun, boşluklar, mikrohabitatlar) korur ve ekosistem hizmetlerinin uzun vadeli stabilitesini artırır (Noss, 1999). Bu durum, SOY–BM'nin yalnızca üretimi değil, ekosistem bütünlüğünü merkezine aldığını gösterir.

İklim Değişikliğine Uyum ve Karbon Yönetimi

İklim değişikliği koşullarında SOY–BM, hem uyum hem de azaltım boyutlarında katkı sağlar. Peyzaj heterojenliği ve tür çeşitliliği, kuraklık ve aşırı sıcaklık gibi streslere karşı ekosistemin tampon kapasitesini artırır (Seidl vd., 2016). Bu da ormanların işlevsel sürekliliğini koruyarak uzun vadeli karbon yutak kapasitesini destekler. Döngüsel değer zinciri yaklaşımı, karbonun yalnızca ormanda değil, uzun ömürlü ahşap ürünlerde de tutulmasını sağlar. Yapısal ahşap kullanımı, karbonu onlarca yıl sistem içinde depolayarak fosil yoğun malzemelere alternatif oluşturur (Churkina vd., 2020). Böylece SOY–BM, orman yönetimini iklim politikalarıyla daha güçlü biçimde bütünleştirir.

Yönetişim, Katılım ve Sosyal Sürdürülebilirlik

SOY–BM, yalnızca teknik optimizasyon değil, yönetişim boyutunda da çıktı üretir. Sosyo-ekolojik sistemlerde sürdürülebilirliğin güçlenmesi; yerel bilgi sistemlerinin tanınması, çok-aktörlü yönetişim ve katılımcı karar süreçleriyle yakından ilişkilidir (Tengö vd., 2017). Kurumsal kapasite açısından ise biyomimikri temelli eğitimlerin, katılımcılarda sürdürülebilirlik zihniyetini derinleştirdiği ve doğayı yalnızca teknik bir model değil, etik bir rehber olarak görme eğilimini güçlendirdiği gösterilmiştir (McInerney ve Niewiarowski, 2022). Bu nedenle SOY–BM, ormancılık kurumlarında ekosistem temelli düşünmenin kurumsallaşmasına ve daha katılımcı yönetim kültürünün gelişmesine katkı sağlayabilir (Tengö vd., 2017; McInerney ve Niewiarowski, 2022).

Operasyonel Sonuçlar

SOY–BM'nin sahadaki somut etkileri şu şekilde özetlenebilir: Bu çerçevenin uygulamaya yansıması;

- İzleme ve değerlendirmede biyoçeşitlilik göstergelerinin kullanılması,
- Dayanıklılığı artıracak yapısal/kompozisyonel çeşitliliğin korunması,
- Orman ürünlerinde karbonun ürün içinde tutulmasını artıracak stratejilerin güçlenmesi şeklinde özetlenebilir (Noss, 1999; Lindenmayer ve Franklin, 2013; Churkina vd., 2020).

Ayrıca bozulma rejimlerinin değiştiği koşullarda planlamanın risk odaklı yapılması ve uyarlanabilir stratejilerin devreye alınması gerektiği özellikle vurgulanmaktadır (Seidl vd., 2016). Bu dönüşüm, ormancılığı yalnızca üretim sektörü olmaktan çıkarıp iklim, biyoçeşitlilik ve toplumsal refah için kritik bir altyapı hâline getirir.

Sonuç olarak SOY–BM, ormancılığa ekolojik, iklimsel ve toplumsal boyutlarda bütüncül bir katkı sunmaktadır. Bu çerçeve, doğal süreçleri model alan yönetim anlayışı sayesinde daha dayanıklı, daha biyolojik çeşitliliği yüksek ve ekosistem işlevleri açısından daha bütünlüklü orman yapılarını teşvik ederken; aynı zamanda karbon yutak kapasitesini güçlendirmekte ve uzun ömürlü ahşap ürünler aracılığıyla karbonun sistem içinde tutulmasını desteklemektedir. Bunun yanında SOY–BM, yerel bilgiye dayalı, katılımcı ve öğrenen yönetişim mekanizmalarını önceleyerek daha adil ve kapsayıcı bir ormancılık yönetimi geliştirilmesine katkı sağlar. Bu yönleriyle SOY–BM, biyomimikriyi ormancılıkta yalnızca riskleri azaltan önleyici bir araç değil, aynı zamanda ekosistemleri onaran ve yeniden canlandıran yenileyici bir yönetim modeli hâline getirmektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Biyomimikri ve Ormancılıkta Paradigma Değişimi

Bu çalışma, biyomimikrinin SOY'ne entegrasyonunun yalnızca teknik araçların geliştirilmesiyle sınırlı olmadığını, aynı zamanda yönetim anlayışında önemli bir paradigma değişimi gerektirdiğini ortaya koymaktadır. Biyomimikri yaklaşımı, doğayı insan faaliyetlerinden ayrı bir kaynak olarak değil, insanın da parçası olduğu karşılıklı bağımlı bir sistem olarak ele alınmasını önermektedir (Scheffer vd., 2000; Snell-Rood, 2016). Bu bakış açısı ormancılığı lineer "al–kullan–at" üretim modelinden çıkararak döngüsel, uyarlanabilir ve dirençli bir yönetim anlayışına yönlendirmektedir (Kroone, 2023).

Biyomimikrinin kavramsal temeli, doğanın "model, ölçüt ve mentor" olarak değerlendirilmesine dayanmaktadır. Bu çerçeveye göre doğa yalnızca teknik çözümler için bir ilham kaynağı değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik açısından bir değerlendirme ölçütü ve etik rehber olarak görülmektedir. Raman vd. (2024), biyomimikrinin özellikle Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ile güçlü bir ilişki kurduğunu ve SKA 15 (Karasal Yaşam) ile doğrudan bağlantılı olduğunu göstermiştir. Bu durum biyomimikrinin ormancılık politikaları ve uygulamaları açısından küresel sürdürülebilirlik gündemiyle uyumlu bir çerçeve sunduğunu göstermektedir.

Ekosistem düzeyinde değerlendirildiğinde biyomimikri, çeşitlilik, döngüsellik ve karşılıklı bağımlılık ilkelerini güçlendirmektedir. Doğal ekosistemlerde biyolojik çeşitliliğin artması, sistemlerin şoklara karşı dayanıklılığını artırmakta ve ekosistem stabilitesini güçlendirmektedir (Gallan vd., 2025). Bu bulgu, ormancılık uygulamalarında neden monokültür yerine karışık ve mozaik yapıların önerildiğini açıklamaktadır. Benzer şekilde yeraltı mantar ağlarının karbon, su ve besin elementlerini ağaçlar arasında paylaşarak ekosistem işleyişini desteklediği bilinmektedir (Tate vd., 2019). Bu ağ yapısı, doğal sistemlerde kaynakların merkezsiz biçimde dolaşımını sağlayan bir döngüsel altyapı olarak değerlendirilebilir.

Kurumsal ve eğitim boyutunda ise biyomimikri temelli eğitimlerin çalışanların sürdürülebilirlik konusundaki farkındalık ve motivasyonlarını artırdığı görülmektedir. McInerney ve Niewiarowski (2022), biyomimikri eğitimlerinin katılımcılarda doğayı yalnızca teknik bir kaynak olarak değil, aynı zamanda etik bir referans noktası olarak algılama eğilimini güçlendirdiğini göstermiştir. Bu bulgu, biyomimikrinin ormancılık kurumlarında yalnızca teknik yenilikleri değil, kurumsal kültürü de dönüştürebilecek bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde biyomimikri ormancılıkta üç temel düzeyde dönüşüm üretmektedir: kavramsal düzeyde doğa-model yaklaşımıyla karar mantığının değişmesi (Raman vd., 2024), ekosistem düzeyinde çeşitlilik temelli dayanıklılığın güçlenmesi (Gallan vd., 2025) ve kurumsal düzeyde sürdürülebilirlik bilincinin artması (McInerney ve Niewiarowski, 2022).

Fırsatlar

Biyomimikrinin ormancılıkta sunduğu en önemli fırsatlardan biri, risk azaltıcı yönetim anlayışı ile rejeneratif yönetim yaklaşımını bütünleştirebilmesidir. Geleneksel ormancılık uygulamalarında çoğunlukla bozulma sonrası restorasyon ön plandayken, biyomimikri doğadaki süreçleri model alarak bozulmaları önlemeye yönelik sistemler geliştirmeyi hedefler. Çeşitlilik temelli ekosistem yapıları, doğal sistemlerde dayanıklılığın kritik bir belirleyicisi olarak kabul edilmektedir (Raman vd., 2024).

Teknolojik açıdan biyomimikri, özellikle uzaktan algılama ve veri analitiği alanında kayda değer fırsatlar sunmaktadır. Örneğin İHA sensörlerinden elde edilen verilerin hekzagonal (bal peteği) veri ızgaralarına dönüştürülmesi, veri tekrarını azaltarak işlem verimliliğini artırmaktadır. Imeraj vd. (2021), bu yaklaşımın veri temsilinde önemli ölçüde etkinlik sağladığını göstermiştir. Bu tür biyomimetik veri mimarileri özellikle yangın izleme, zararlı takibi ve habitat haritalama gibi ormancılık uygulamalarında erken uyarı ve karar destek sistemlerini güçlendirme potansiyeline sahiptir (McInerney ve Niewiarowski, 2022).

Ekosistem yönetimi açısından biyomimikri, karışık meşcere yapılarının ve mozaik peyzajların önemini vurgulamaktadır. Doğal ekosistemlerde türler arası etkileşimler ve kaynak paylaşımı sistemin sürekliliğini sağlamaktadır (Gallan vd., 2025). Yeraltı mantar ağlarının ekosistem işleyişindeki rolü, bu karşılıklı bağımlılık ilişkilerinin önemli bir örneğini oluşturmaktadır (Tate vd., 2019).

Biyomimikrinin sunduğu bir diğer fırsat ise döngüsel ekonomi yaklaşımıyla ilişkilidir. Ahşap ürünlerin uzun ömürlü kullanımı karbonun sistem içinde depolanmasını sağlayarak iklim değişikliğiyle mücadelede önemli katkı sunabilmektedir (Churkina vd., 2020). Benzer şekilde dayanıklı ahşap ürünlerin uzun süreli karbon depolama potansiyeline sahip olduğu belirtilmektedir (Bumgardner ve Nicholls, 2020). Bu durum, ormancılığın yalnızca hammadde üretimiyle sınırlı olmayıp karbon yönetiminin de önemli bir bileşeni olduğunu göstermektedir.

Kurumsal açıdan değerlendirildiğinde, biyomimikri yaklaşımı, ormancılık kurumlarında sürdürülebilirlik odaklı karar alma süreçlerini destekleyebilir. Eğitim ve farkındalık programları sayesinde mühendislik odaklı yaklaşımlar ekosistem temelli düşünme biçimiyle dengelenebilir (McInerney ve Niewiarowski, 2022).

Sınırlar ve Zorluklar

Biyomimikri önemli fırsatlar sunmakla birlikte uygulamada bazı sınırlılıklarla karşılaşılabilmektedir. Öncelikle biyomimikri, biomimetics ve bioinspiration gibi kavramların farklı disiplinlerde farklı anlamlarda kullanılması yöntemsel belirsizliklere yol açabilmektedir. Bu nedenle ISO 18458 standardı biyomimetik uygulamalar için terminolojik ve metodolojik bir çerçeve sunmaktadır (ISO 18458, 2015).

Bir diğer önemli sorun, biyomimikrinin bazı uygulamalarda yalnızca biçimsel taklit düzeyinde kalmasıdır. Sharma ve Sarkar (2019), biyomimikri süreçlerinde uygun biyolojik analoğun seçilmesi ve tasarıma aktarılması aşamalarında çeşitli bilgi boşlukları bulunduğunu belirtmektedir. Orman ekosistemleri karmaşık geri besleme mekanizmalarına sahip olduğundan yüzeysel taklit yaklaşımları sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlamayabilir. Bununla birlikte, biyolojik çözümlerin farklı ekosistem koşullarına doğrudan aktarılması her zaman mümkün değildir. Bu nedenle biyomimikri uygulamalarında soyutlama ve bağlamsal uyarlama süreçleri kritik öneme sahiptir (ISO 18458, 2015). Disiplinlerarası iş birliğinin eksik olduğu durumlarda yanlış analoji seçimi riski artabilmektedir (Wissa vd., 2022).

Ekonomik açıdan ise ormancılıkta kısa vadeli üretim hedefleri ile biyoçeşitlilik ve ekosistem bütünlüğü arasında çeşitli ödünleşimler bulunabilmektedir (Mazziotta vd., 2023). Bu nedenle biyomimikri temelli uygulamaların yaygınlaşabilmesi için uygun teşvik ve politika araçlarının geliştirilmesi gerekmektedir (OECD, 2025).

Politika Önerileri

Biyomimikrinin ormancılıkta kurumsallaşabilmesi için politika düzeyinde bazı düzenlemelere ihtiyaç vardır. Öncelikle ulusal ormancılık stratejilerinin biyoçeşitlilik, yapısal karmaşıklık ve peyzaj bağlantılılığı gibi göstergeleri içerecek şekilde yeniden yapılandırılması gerekmektedir (Noss, 1999; Seidl vd., 2016).

İkinci olarak izleme ve veri altyapısının güçlendirilmesi önemlidir. Uzaktan algılama ve İHA temelli sistemler peyzaj düzeyinde risk analizleri yaparak yönetim süreçlerini destekleyebilir (Turner, 2010). Bunun yanı sıra, karışık meşcere yapılarının teşvik edilmesi ve monokültür uygulamalarının sınırlandırılması da ekosistem dayanıklılığını artırabilir (Chaudhary vd., 2016).

Bunun yanında döngüsel ahşap ürünleri politikalarının geliştirilmesi ve uzun ömürlü ahşap kullanımının teşvik edilmesi önerilmektedir (Churkina vd., 2020). Eğitim politikaları açısından ise orman mühendisliği programlarına biyomimikri temelli derslerin eklenmesi ve kurum içi eğitimlerin yaygınlaştırılması önem taşımaktadır (McInerney ve Niewiarowski, 2022).

Gelecek Araştırma Alanları

Biyomimikrinin ormancılığa entegrasyonu konusunda birçok araştırma alanı hâlen gelişim aşamasındadır. Özellikle biyomimetik peyzaj tasarımlarının uzun dönemli ekosistem etkilerinin incelenmesi önemlidir. Karışık meşcere yapılarının karbon depolama ve yangın rejimleri üzerindeki etkileri zaman serisi verileriyle analiz edilmesi gerekmektedir (Biggs vd., 2012; Gamfeldt vd., 2013).

Ayrıca biyomimetik veri mimarilerinin farklı ekosistemlerdeki performansının karşılaştırılması gerekmektedir. Hekzagonal veri modellerinin farklı topoğrafya ve iklim koşullarında doğrulanması, bu teknolojilerin ormancılık uygulamalarında güvenilir biçimde kullanılabilmesi açısından önemlidir (Turner, 2010).

Son olarak biyomimikrinin sosyo-ekolojik yönetişim süreçleriyle ilişkisi de araştırılması gereken önemli bir konudur. Yerel bilgi sistemleri ve katılımcı yönetim modelleriyle biyomimikri yaklaşımlarının nasıl entegre edileceği üzerine saha çalışmalarına ihtiyaç bulunmaktadır (Folke vd., 2010).

Genel olarak değerlendirildiğinde, biyomimikri tabanlı sürdürülebilir orman yönetimi yaklaşımı, ormancılığı karmaşık ve öğrenen bir sosyo-ekolojik sistem olarak ele alan bütüncül bir perspektif sunmaktadır. Doğayı model, ölçüt ve mentor olarak kabul eden bu yaklaşım; dayanıklılığı artıran silvikültür uygulamaları, biyomimetik veri analitiği ve döngüsel ahşap değer zincirleri aracılığıyla ormancılıkta çok boyutlu bir dönüşüm potansiyeli sunmaktadır. Ancak bu yaklaşımın etkili olabilmesi için disiplinlerarası iş birliği, güçlü izleme sistemleri ve uygun politika araçlarıyla desteklenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Benyus, J.M. (1997). *Biomimicry: Innovation inspired by nature* (Vol. 688136915). New York: Morrow.

Biggs, R., Schlüter, M., Biggs, D., Bohensky, E. L., BurnSilver, S., Cundill, G., & West, P. C. (2012). Toward principles for enhancing the resilience of ecosystem services. *Annual review of environment and resources*, *37*, 421-448. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-051211-123836

Bumgardner, M.S., & Nicholls, D.L. (2020). Sustainable practices in furniture design: A literature study on customization, biomimicry, competitiveness, and product communication. *Forests*, *11*(12), 1277. https://doi.org/10.3390/f11121277

Chaudhary, A., Burivalova, Z., Koh, L.P., & Hellweg, S. (2016). Impact of forest management on species richness: global meta-analysis and economic trade-offs. *Scientific reports*, *6*(1), 23954. https://doi.org/10.1038/srep23954

Churkina, G., Organschi, A., Reyer, C.P., Ruff, A., Vinke, K., Liu, Z., & Schellnhuber, H. J. (2020). Buildings as a global carbon sink. *Nature Sustainability*, *3*(4), 269-276. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4

Dicks, H. (2016). The philosophy of biomimicry. *Philosophy & Technology*, *29*(3), 223-243. https://doi.org/10.1007/s13347-015-0210-2

Fadok, R.A. (2022). *In Life's likeness: biomimicry and the imitation of nature* (Doctoral Thesis). Massachusetts Institute of Technology.

FAO. (2018). *The State of the World's Forests 2018: Forest Pathways to Sustainable Development*. UN.

Folke, C., Carpenter, S.R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., & Rockström, J. (2010). Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and society*, *15*(4). http://www.jstor.org/stable/26268226

Gallan, A.S., Alkire, L., Teixeira, J.G., Heinonen, K., & Fisk, R.P. (2025). Biomimicry for sustainability: upframing service ecosystems. *AMS Review*, 1-17. https://doi.org/10.1007/s13162-024-00296-4

Gamfeldt, L., Snäll, T., Bagchi, R., Jonsson, M., Gustafsson, L., Kjellander, P., & Bengtsson, J. (2013). Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. *Nature Communications*, *4*(1), 1340. https://doi.org/10.1038/ncomms2328

Gunderson, L.H., & Holling, C.S. (2002). *Panarchy: understanding transformations in human and natural systems*. Island Press, Washington.

Holling, C.S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review Ecology, Evolution, and Systematics*. 4, 1-23.

Imeraj, G., Hoxha, J., & Ali, M. (2021). Risk assessment of forests probed using UAV integrated computing. In *2021 International Conference on Computing, Electronics & Communications Engineering (iCCECE)* (pp. 41-47). IEEE.

IPBES, W. (2019). Intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services. *Summary for policy makers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services. IPBES Secretariat, Bonn, Germany*.

ISO 18458. (2015). Biomimetics—Terminology, concepts and methodology. *BSI Standards Publication: London, UK*.

Kroone, N. (2023). *Exploring the potential of biomimicry in life sciences: towards interdisciplinary collaboration and a paradigm shift* (Master Thesis). Utrecht University, Netherlands.

Kuuluvainen, T. (2009). Forest management and biodiversity conservation based on natural ecosystem dynamics in Northern Europe: the complexity challenge. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, *38*(6), 309-315. http://www.jstor.org/stable/40390241

Lindenmayer, D.B., & Franklin, J.F. (2013). *Conserving forest biodiversity: a comprehensive multiscaled approach*. Island Press.

Mazziotta, A., Borges, P., Kangas, A., Halme, P., & Eyvindson, K. (2023). Spatial trade-offs between ecological and economical sustainability in the boreal production forest. *Journal of Environmental Management*, *330*, 117144. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117144

McInerney, S.J., & Niewiarowski, P.H. (2022). Biomimicry training to promote employee engagement in sustainability. *Biomimetics*, *7*(2), 71. https://doi.org/10.3390/biomimetics7020071

Messier, C., Puettmann, K.J., & Coates, K.D. (Eds.). (2013). *Managing forests as complex adaptive systems: building resilience to the challenge of global change*. Routledge.

Nehizena, O. (2022). *Lessons from the forest to improve urban water management and biodiversity* (Doctoral Dissertation). Aeres Hogeschool.

Nocentini, S., Buttoud, G., Ciancio, O., & Corona, P. (2017). Managing forests in a changing world: the need for a systemic approach: a review. *Forest Systems,* 26 (1), eR01. https://doi.org/10.5424/fs/2017261-09443

Noss, R.F. (1999). Assessing and monitoring forest biodiversity: a suggested framework and indicators. *Forest Ecology and Management*, 115(2-3), 135-146. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00394-6

OECD. (2025). *Scaling up Biodiversity-Positive Incentives: Delivering on Target 18 of the Global Biodiversity Framework*. OECD Publishing, Paris.

Oguntona, O.A., & Aigbavboa, C.O. (2023). Nature inspiration, imitation, and emulation: biomimicry thinking path to sustainability in the construction industry. *Frontiers in Built Environment*, *9*, 1085979. https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1085979

Puettmann, K.J., Messier, C., & Coates, K.D. (2013). Managing forests as complex adaptive systems: introductory concepts and applications. In *Managing Forests as Complex Adaptive Systems* (pp. 3-16). Routledge.

Raman, R., Sreenivasan, A., Suresh, M., & Nedungadi, P. (2024). Mapping biomimicry research to sustainable development goals. *Scientific Reports*, *14*(1), 18613. https://doi.org/10.1038/s41598-024-69230-9

Scheffer, M., Brock, W., & Westley, F. (2000). Socioeconomic mechanisms preventing optimum use of ecosystem services: an interdisciplinary theoretical analysis. *Ecosystems*, *3*(5), 451-471. https://doi.org/10.1007/s100210000040

Seidl, R., Spies, T.A., Peterson, D.L., Stephens, S.L., & Hicke, J.A. (2016). Searching for resilience: addressing the impacts of changing disturbance regimes on forest ecosystem services. *Journal of Applied Ecology*, *53*(1), 120-129. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12511

Sharma, S., & Sarkar, P. (2019). Biomimicry: exploring research, challenges, gaps, and tools. In *Research into Design for a Connected World: Proceedings of ICoRD 2019 Volume 1* (pp. 87-97). Singapore: Springer Singapore.

Snell-Rood, E. (2016). Interdisciplinarity: bring biologists into biomimetics. *Nature*, *529*(7586), 277-278. https://doi.org/10.1038/529277a

Tate, W.L., Bals, L., Bals, C., & Foerstl, K. (2019). Seeing the forest and not the trees: learning from nature's circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, *149*, 115-129. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.05.023

Tengö, M., Hill, R., Malmer, P., Raymond, C.M., Spierenburg, M., Danielsen, F., Elmqvist, T., & Folke, C. (2017). Weaving knowledge systems in IPBES, CBD and beyond—lessons learned for sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 26, 17-25. http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.005

Turner, M.G. (2010). Disturbance and landscape dynamics in a changing world. *Ecology*, *91*(10), 2833-2849. https://doi.org/10.1890/10-0097.1

Vincent, J.F., Bogatyreva, O.A., Bogatyrev, N.R., Bowyer, A., & Pahl, A.K. (2006). Biomimetics: its practice and theory. *Journal of the Royal Society Interface*, *3*(9), 471-482. https://doi.org/10.1098/rsif.2006.0127

Walters, C.J. (1986). *Adaptive management of renewable resources*. Macmillan Publishers Ltd.

Wissa, A., Alleyne, M., Barley, W.C., & Suarez, A.V. (2022). Best practices of bioinspired design: key themes and challenges. *Integrative and Comparative Biology*, *62*(5), 1147-1152. https://doi.org/10.1093/icb/icac143