

## Dijital Üretim ve Karbon Ayak İzi: Görsel Sanatlarda Sürdürülebilirlik Paradoksu

Dilek Aydemir<sup>1</sup>

### Özet

Dijital devrim, görsel sanatlar ve grafik tasarım alanında üretim biçimlerini köklü bir şekilde dönüştürmüş, malzeme temelli yöntemlerin yerini büyük ölçüde ekran tabanlı süreçlere bırakmıştır. Bu dönüşüm, baskı ve lojistik süreçlerdeki maliyetleri azaltarak sürdürülebilirlik söylemi açısından umut vadeden bir potansiyel sunarken; aynı zamanda yüksek enerji tüketimi, donanım yenilenme döngüleri ve elektronik atık sorunlarıyla birlikte yeni ekolojik yükler de ortaya çıkarmaktadır. Dijital üretim ekosisteminin çok katmanlı yapısı, donanım imalatı, veri merkezleri, yazılım altyapısı ve bulut depolama gibi unsurları kapsamakta; bu süreçler, fosil yakıt temelli enerji kaynaklarına bağımlılık nedeniyle önemli düzeyde karbon salınımına yol açmaktadır.

Kağıtsız üretim miti, fiziksel malzeme kullanımını azaltarak çevresel avantaj sağladığı iddiasına karşın, enerji temelli maliyetlerin göz ardı edilmesi nedeniyle yanıltıcı bir ekolojik algı yaratmaktadır. Yüksek çözünürlüklü görsellerin işlenmesi, sürekli veri transferi ve depolama gereksinimi, enerji talebini artırarak bu avantajları çoğu zaman ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca donanımın kısa ömürlü olması ve elektronik atıkların çoğunlukla kayıt dışı yollarla bertaraf edilmesi, ekosistem üzerindeki baskıyı daha da artırmaktadır.

Bu çelişkili tabloya karşın, düşük enerji tüketimli yazılımlar, yeşil sunucu çözümleri ve açık kaynak tabanlı pratikler, dijital sanatın sürdürülebilirlik perspektifinde yeniden ele alınabileceğini göstermektedir. The Wastive, Benefit Game: Alien Seaweed Swarms, GestoBrush, From Green to Red ve Nature Manifesto gibi projeler, dijital sanatın hem çevresel risklerini hem de farkındalık yaratma potansiyelini görünür kılmaktadır. Sonuç olarak, dijital sanat üretimi ne tamamen çevresel bir çözüm ne de tek başına bir tehdit olarak görülmelidir. Asıl mesele, teknolojik olanakların enerji verimliliği,

1 Doç. Dr., Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Grafik Tasarımı Bölümü, dilek.aydemir@gop.edu.tr, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4194-6030>

yenilenebilir kaynak kullanımı ve şeffaf karbon raporlaması gibi bütüncül stratejilerle desteklenerek yeniden düşünülmesidir. Bu bağlamda, görsel sanatlarda sürdürülebilirlik tartışması malzeme tasarrufunun ötesine taşınarak enerji ve etik sorumluluk odaklı bir yaklaşım geliştirilmelidir.

## Giriş

Yirminci yüzyılın son çeyreğinden itibaren ivme kazanan dijital devrim, görsel sanatlar ve grafik tasarım alanlarında üretim süreçlerini dönüştürmüş, yeni ifade olanaklarını beraberinde getirmiştir. Geleneksel malzeme temelli sanat üretiminin yerini büyük ölçüde ekran tabanlı süreçlerin alması, sanat nesnesini maddi malzemeden kod ve piksel ağlarına taşıyarak hem yaratım pratiklerini hem de dolaşım biçimlerini yeniden tanımlamıştır. Bu süreçte bilgi, eğlence ve ticaret alanlarının bütünleşmesi, bireyleri salt medya tüketicisi olmaktan çıkararak kendi içeriklerini de üretme, paylaşma ve kültürel dolaşıma doğrudan katılma olanağı sağlamaktadır (Mazlum 2024a: 120). Bu dönüşüm, fiziksel üretim ve lojistik maliyetleri azaltma, hızlı çoğaltma ve kolay erişim gibi avantajlarıyla sürdürülebilirlik söylemi açısından umut vadeden bir potansiyel sunmaktadır. Dijital üretim, yüzeyde daha “hafif” ve çevre dostu görünmekte; baskı, nakliye, depolama gibi enerji yoğun aşamaları azaltarak ekolojik bir alternatif olarak konumlanmaktadır.

Ne var ki, dijitalleşmenin bu parlak yüzü, ardında çoğu zaman görünmez kılınan bir ekolojik altyapıya dayanmaktadır. Yüksek çözünürlüklü görsellerin işlenmesi, bulut tabanlı depolama, veri merkezlerinin 7/24 çalışması, soğutma sistemleri ve sürekli donanım yenilenmesi gibi süreçler önemli miktarda enerji tüketmekte ve karbon salınımına neden olmaktadır. Green Algorithms çalışması, herhangi bir hesaplama sürecinin karbon ayak izinin işlem süresi, kullanılan işlemci ve veri merkezi konumu gibi değişkenlerle ölçülebileceğini ortaya koyarak, “iz bırakmayan dijital yaratım süreçleri” algısını sorgulamaktadır (Lannelongue, Grealey & Inouye, 2020). Benzer biçimde Wonderland Studio’nun The State of Sustainable Digital Design raporu, bir tasarımcının yıllık dijital içerik üretim faaliyetlerinin yüzlerce kilogram karbondioksit (CO<sub>2</sub>) eşdeğerinde karbon salınımına yol açabileceğini göstermektedir (Wonderland Studio, 2022). Bu veriler, dijital üretimin yalnızca malzeme kullanımını azaltmakla “yeşil” bir pratiğe dönüşmeyeceğini; enerji ve donanım altyapısına bağımlı bir karbon ekonomisinin parçası olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Grafik tasarım ve görsel sanatlarda dijital araçların yükselişi, üretim süreçlerinin hem görünür hem de gizli maliyetlerini artıran yeni dinamikler yaratmaktadır. Dosyaların çoklu formatlarda kopyalanması, çevrimiçi sergiler ve NFT platformları için sürekli veri akışı, yüksek işlem gücü

gerektiren render süreçleri ve cihazların kısa yenilenme döngüleri, her biri ayrı bir karbon yükü taşımaktadır. Bu durum, “daha az malzeme” kullandığı düşünülen dijital tasarımların aslında daha fazla enerji talep eden bir altyapıya yaslandığını göstermektedir. Dolayısıyla dijitalleşmenin ekolojik avantajları, verimlilik artışı ile tetiklenen yeni tüketim biçimleri nedeniyle “geri tepme etkisi” (rebound effect) yaratabilir; tasarruf edilen enerji, daha fazla üretim ve paylaşım ile hızla tüketilebilir. Bu yüzden tasarımcılar da ekolojik sahadaki görsel kirlilik izlerinin farkında olmalı ve güçlerini tüketim yerine sürdürülebilir yaşamlara yönlendirmelidirler (Demir, 2024).

Sürdürülebilirlik söylemi, dijital teknolojileri çoğu zaman karbon azaltıcı bir çözüm olarak sunarken, enerji kaynağının niteliği, donanımın gömülü karbon maliyeti ve uzun vadeli veri depolama yükü gibi faktörleri ikincil planda bırakır. Yenilenebilir enerji ile beslenmeyen veri merkezleri, donanım üretiminde kullanılan nadir elementlerin çıkarımı ve elektronik atıkların geri dönüşüm zorlukları, bu söylemin altını boşaltan kritik unsurlar olarak öne çıkar. Ayrıca, “karbonsuz sanat” ya da “yeşil NFT” gibi pazarlama odaklı etiketler, gerçek bir ekolojik dönüşümden ziyade kurumsal imajın parçası olarak işlev görebilmekte, bu da yeşil yıkama (greenwashing) riskini beraberinde getirmektedir (Gallery Climate Coalition, 2025).

Bu çelişkili tablo, dijitalleşmiş üretim süreçlerinin hem çevresel kurtuluş hem de ekolojik tehdit potansiyelini aynı anda barındırdığını göstermektedir. Grafik tasarımcı ve görsel sanatçılar için bu durum, yalnızca teknik bir tercih değil, aynı zamanda etik ve politik bir sorumluluk alanıdır. Dijitalleşmenin sunduğu hızlı üretim, sonsuz çoğaltma ve küresel erişim olanakları, karbon ayak izinin azaltılması yönündeki stratejilerle birlikte ele alınmadığında, sürdürülebilirlik vaatleri kaçınılmaz biçimde bir paradoksa dönüşmektedir. Bu nedenle, görsel sanatların geleceği açısından asıl mesele dijital araçların tamamen reddi değil, bu araçların üretim ve dolaşım süreçlerinde enerji verimliliği, yenilenebilir kaynak kullanımı, cihaz ömrünü uzatma ve bilinçli üretim gibi bütüncül stratejilerle yeniden düşünülmesidir.

## 1. Dijital Üretim Ekosistemi ve Karbon Ayak İzi

Görsel sanatlar ve grafik tasarım alanlarında dijitalleşmenin yaygınlaşmasıyla birlikte, üretim süreçlerinin yalnızca estetik ve işlevsel boyutlarının değil, aynı zamanda ekolojik etkilerinin de incelenmesi kaçınılmaz hale gelmiştir. Dijitallik ekosistemi; donanım imalatından yazılım altyapısına, veri merkezlerinden bulut depolamaya, internet ağlarından son kullanıcı cihazlarına kadar çok katmanlı ve küresel ölçekte işleyen bir yapıya sahiptir. Bu karmaşık sistem, görünürde fiziksel malzeme kullanımını azaltırken, arka planda sürekli

enerji tüketimi, elektronik atık üretimi ve gömülü karbon emisyonu gibi süreçlerle önemli bir çevresel yük yaratmaktadır. Bu ekosistemde gerçekleşen her dijital işlem—görsel dosyaların oluşturulması, düzenlenmesi, işlenmesi, çoğaltılması ve saklanması—belirli bir enerji talebini beraberinde getirir. Yüksek çözünürlüklü grafiklerin render edilmesi, üç boyutlu modelleme, animasyon ya da yapay zekâ destekli görsel üretim gibi yoğun hesaplama gerektiren işlemler, veri merkezlerinin işlem kapasitesini artırmakta ve buna bağlı olarak elektrik tüketimini yükseltmektedir. Söz konusu enerji tüketimi, çoğu zaman fosil yakıt temelli elektrik şebekelerine bağlı olduğundan, karbon ayak izine doğrudan katkıda bulunmaktadır. Veri merkezlerinin 7/24 çalışması, soğutma sistemlerinin sürekliliği ve depolama kapasitelerinin sürekli genişletilmesi, bu ekosistemin temel bileşenleri olarak yüksek düzeyde karbon salınımına yol açmaktadır. Ayrıca donanım yenilenme döngülerinin kısalığı, cihazların üretim ve bertaraf süreçlerinde gömülü karbon miktarını artırmakta; nadir toprak elementlerinin madenciliği, lojistik ve geri dönüşüm zorlukları da toplam çevresel maliyetin büyümesine neden olmaktadır. Dolayısıyla dijital üretim, fiziksel atıkları azaltma potansiyeline rağmen, altyapısal enerji talebi ve donanımsal bağımlılığı nedeniyle sürdürülebilirlik iddialarını sınırlayan yapısal bir paradoks içermektedir.

Bu bağlamda, dijital ekosisteminin karbon ayak izi, yalnızca tekil sanatçıların ya da tasarımcıların tercihleriyle değil, küresel ölçekte enerji politikaları, veri yönetim stratejileri ve teknoloji şirketlerinin operasyonel standartlarıyla belirlenmektedir. Bu durum, görsel sanatlar ve grafik tasarım alanındaki üretim pratiklerinin, bireysel yaratıcılığın ötesinde, küresel ekolojik sorumluluk perspektifinden değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır.

## 2. Görsel Sanatlarda Sürdürülebilirlik

Dijital teknolojilerin görsel sanatlarda hızla yaygınlaşması, uzun yıllar boyunca “kağıtsız üretim” ideali üzerinden çevresel açıdan daha temiz ve sürdürülebilir bir gelecek vaadiyle sunulmuştur. Dijital devrim olarak nitelendirilen bu süreç, sanatın yapım ve sunum biçimlerinde köklü dönüşümlere yol açmış ve yeni ifade olanaklarının ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır (Mazlum, 2024b: 348). Matbaanın, serigrafinin ya da geleneksel baskı yöntemlerinin yerini alan ekran tabanlı üretim süreçleri, ilk bakışta kâğıt, boya, solvent ve lojistik kaynak kullanımını azaltan “ekolojik” bir alternatif olarak konumlandırılmıştır. Ancak bu söylem, dijital altyapının görünmeyen enerji ve donanım maliyetleri dikkate alındığında büyük ölçüde sorgulanabilir bir mit olarak belirmektedir. Kâğıdın yokluğu, üretim döngüsündeki karbon salınımının otomatik olarak düştüğü anlamına

gelmemekte; aksine enerjiye dayalı işlemlerin artışı, dijital süreçleri yeni tür bir çevresel yükü ilişkilendirmektedir.

Bu eleştirel çerçevede ilk olarak, kağıtsız üretim miti yalnızca fiziksel malzeme kullanımına odaklanarak, dijital süreçlerin ardındaki karmaşık enerji ekosistemini görünmez kılar. Yüksek çözünürlüklü görsel işleme, sürekli çevrimiçi veri transferi ve bulut tabanlı depolama, kâğıt tüketimi ortadan kalksa dahi enerji tüketimini katlanarak artırmaktadır. Green Algorithms çalışması, tek bir yoğun hesaplama sürecinin dahi baskı süreçlerinde kullanılan enerjiye eş veya ondan daha yüksek karbon emisyonu yaratabileceğini ortaya koymuştur (Lannelongue, Grealey & Inouye, 2020). Dolayısıyla, kâğıdın ortadan kalkması, toplam ekolojik maliyetin otomatik olarak azaldığı anlamına gelmemektedir; yalnızca maliyetin türü ve görünürlüğü değişmektedir.

Dijitalleşmenin bir diğer göz ardı edilen sonucu, elektronik atık (e-waste) ve donanımın yaşam döngüsüyle ilgilidir. Grafik tasarım ve görsel sanat üretiminde kullanılan bilgisayarlar, tabletler, ekranlar, grafik işlemciler ve depolama birimleri sınırlı bir kullanım ömrüne sahiptir. Yüksek performans gereksinimi, donanımın sık yenilenmesini zorunlu kılmakta; bu da gömülü karbon emisyonu yüksek olan üretim süreçlerini ve geri dönüşümü güç, toksik maddeler içeren atıkları beraberinde getirmektedir. Nadir toprak elementlerinin madenciliği, donanım montajı, küresel lojistik ve bertaraf süreçleri, yalnızca enerji tüketimi değil, aynı zamanda su kirliliği ve ekosistem tahribatı gibi ikincil çevresel etkiler de yaratmaktadır. Elektronik atığın yalnızca %20'sinin resmi geri dönüşüm sistemlerine girdiği, geri kalanının ise çoğunlukla kayıt dışı biçimde yakıldığı veya depolandığı yönündeki veriler (UNEP, 2023) bu sorunun ölçeğini çarpıcı biçimde ortaya koymaktadır.

Bu bağlamda, dijital yaratım süreçlerinde “daha az malzeme, daha fazla enerji” ikilemi kritik bir sürdürülebilirlik açmazı olarak öne çıkar. Fiziksel baskı malzemelerinin azalması, veri merkezlerinin sürekli çalışmasını, render işlemlerinin yoğunlaşmasını ve yüksek çözünürlüklü dosyaların artan depolama ihtiyacını telafi edememektedir. Wonderland Studio’nun raporuna göre, bir tasarımcının düzenli olarak gerçekleştirdiği dosya işleme ve çevrimiçi paylaşım faaliyetleri, yıllık ölçeğe ciddi miktarda CO<sub>2</sub> eşdeğeri salınımına neden olabilmektedir (Wonderland Studio, 2022). Bu bulgular, enerji yoğun dijital işlemlerin, kağıtsız üretim sayesinde elde edilen karbon tasarruflarını çoğu zaman geri aldığını göstermektedir.

Sonuç olarak, görsel sanatlarda dijitalleşmenin sürdürülebilirlik söylemi, yalnızca materyal tüketiminin azaltılması üzerinden okunamaz. Kağıtsız üretim ideali, enerji temelli süreçlerin karbon maliyetini perdeleyerek çevresel

sorumluluk algısını yanıltıcı biçimde şekillendirmektedir. Elektronik atıkların yönetimi, donanımın yaşam döngüsü, veri merkezlerinin enerji kaynağı ve tasarımcıların üretim pratikleri birlikte ele alınmadıkça, dijital üretimler ekolojik bir çözüm olmaktan çok, farklı biçimde işleyen bir çevresel paradoks olarak varlığını sürdürmektedir.

### 3. Tasarım Sürecinde Çevresel Karar Noktaları

Ekran tabanlı üretimin yaygınlaşması, grafik tasarım ve görsel sanat pratiğinde her aşamanın yalnızca estetik değil aynı zamanda ekolojik bir karar alanı olarak yeniden değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Tasarımcılar, projenin kapsamından kullanılan tipografi ve renk paletine, dosya boyutu ve çözünürlük seçimlerinden baskı ya da dijital dağıtım tercihlerine kadar her adımda karbon ayak izini doğrudan etkileyen seçimler yapmak durumundadır. Bu nedenle tasarım süreci, yalnızca yaratıcı bir etkinlik değil, aynı zamanda enerji tüketimi ve kaynak yönetimi açısından kritik karar noktalarının bütünüdür.

Proje ölçeği ve dosya boyutu yönetimi dijital tasarımın temel ekolojik belirleyicilerindendir. Bir çalışmanın çözünürlüğü, piksel yoğunluğu ve dosya formatı büyüdükçe, render süreleri uzamakta, işlemci gücü ve depolama kapasitesi artmakta, dolayısıyla enerji tüketimi de yükselmektedir. Özellikle çok katmanlı vektör veya raster tabanlı projelerde kullanılan yüksek çözünürlük, her yeni kayıta ve her paylaşımda daha büyük veri transferini gerektirmektedir. Green Algorithms tarafından ortaya konan bulgular, dosya boyutundaki küçük artışların bile hesaplama süresine bağlı olarak karbon emisyonunu katlanarak artırabileceğini göstermektedir (Lannelongue, Grealey & Inouye, 2020). Bu nedenle projenin ölçeği tasarlanırken yalnızca görsel kalite değil, dosya yönetiminin enerji maliyeti de hesaba katılmalıdır.

Tasarımın temel bileşenlerinden olan tipografi, renk ve çözünürlük tercihleri de enerji tüketimi üzerinde dolaylı fakat önemli etkilere sahiptir. Örneğin, koyu zeminler yerine açık renk arka planların kullanılması bazı ekran teknolojilerinde (özellikle OLED tabanlı cihazlarda) daha yüksek enerji tüketimine yol açabilir; buna karşın e-ink veya LED panellerde tam tersi bir ilişki gözlemlenebilir. Benzer biçimde, animasyonlu tipografik düzenler veya yüksek kontrastlı renk geçişleri, sabit görsellere kıyasla daha fazla işlemci gücü ve grafik kartı performansı gerektirebilir. Bu durum, tipografi ve renk kararlarının yalnızca estetik birer unsur değil, aynı zamanda cihaz bazlı enerji politikalarıyla ilişkili çevresel parametreler olduğunu ortaya koymaktadır. Çözünürlük seçimleri de benzer biçimde kritik bir etkiye sahiptir: gereksiz

yüksek çözünürlük, görsel kalitede fark yaratmaksızın dosya boyutunu ve dolayısıyla veri transferi kaynaklı karbon salınımını artırmaktadır.

Tasarımcıların karşısına çıkan bir diğer önemli karar alanı, sürdürülebilir baskı alternatifleri ile dijital çözüm karşılaştırmasıdır. Kâğıt, boya ve lojistik tüketimi nedeniyle uzun yıllar boyunca çevresel yükü yüksek olarak görülen baskı süreçleri, günümüzde geri dönüştürülmüş kâğıt, bitkisel bazlı mürekkep ve düşük enerji tüketimli ofset veya dijital baskı teknolojileri gibi yeniliklerle karbon ayak izini önemli ölçüde azaltabilmektedir. Örneğin, FSC (Forest Stewardship Council) sertifikalı kâğıt ve bitkisel bazlı mürekkep kullanımı, geleneksel ofset baskıya kıyasla %20–30 oranında karbon salınımını düşürebilmektedir (WWF, 2022). Buna karşılık, tamamen dijital dağıtım seçeneği kâğıt tüketimini ortadan kaldırırsa da veri merkezlerinin enerji tüketimi, cihaz üretiminin gömülü karbonu ve uzun vadeli depolama maliyetleri nedeniyle “sıfır karbon” bir çözüm değildir. Wonderland Studio’nun raporu, çevrimiçi olarak milyonlarca kez görüntülenen bir kampanyanın toplam emisyonunun, sınırlı sayıda basılı materyal üretilen bir kampanyaya denk olabileceğini göstermektedir (Wonderland Studio, 2022). Dolayısıyla baskı ve dijital seçenekler, proje bağlamına göre nicel karbon hesaplarıyla karşılaştırılmadan otomatik biçimde “yeşil” ya da “kirli” olarak etiketlenemez.

Bu çerçevede, tasarım sürecindeki her kararın—proje ölçeğinin tanımlanmasından dosya optimizasyonuna, tipografik ayrıntılardan dağıtım stratejisine kadar—sürdürülebilirlik kriterleriyle birlikte değerlendirilmesi, görsel sanatlarda çevresel sorumluluk bilincinin temelini oluşturmaktadır. Ekolojik duyarlılıkla alınan küçük ölçekli kararlar, tasarım pratiğinin toplam karbon ayak izini azaltma yönünde birikimli ve ölçülebilir bir etki yaratabilmektedir.

Buna ek olarak, yapay zekâ destekli yaratıcı araçların (örneğin ChatGPT ve DALL·E) görsel sanatlar ve tasarım pratiğinde giderek daha fazla yer edinmesi, dijital tasarım üretimi süreçlerinin enerji maliyetini artıran yeni bir boyut oluşturmaktadır. Büyük dil modelleri ve görsel üretim sistemleri, milyarlarca parametreye dayalı hesaplamalar gerektirdiğinden hem eğitim aşamalarında hem de günlük kullanımda yüksek miktarda elektrik tüketmektedir. Bu sistemler, çoğunlukla bulut tabanlı veri merkezleri üzerinden çalıştığından, enerji tüketimi yalnızca işlemci gücüyle sınırlı kalmamakta; soğutma altyapısı, veri transferi ve uzun vadeli depolama kapasitesi de ek karbon maliyetleri doğurmaktadır. Örneğin, tek bir görsel üretim talebi ya da uzun metin çıktısı, bireysel cihazların işlem gücüyle kıyaslandığında çok daha yoğun bir enerji altyapısını harekete geçirmektedir.

Bu durum, yapay zekâ araçlarının sağladığı yaratıcılık ve hız avantajlarının, görünmeyen ekolojik yüklerle dengelenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, yapay zekâ tabanlı üretim süreçlerinin ekolojik etkilerinin şeffaf biçimde raporlanması, veri merkezlerinin yenilenebilir enerji kaynaklarıyla beslenmesi ve frugal AI (tutumlu yapay zekâ) gibi düşük enerji tüketimli modelleme yaklaşımlarının teşvik edilmesi kritik önem taşımaktadır. Aksi halde, yapay zekâ destekli tasarım araçları, fiziksel malzeme tasarrufunun sağladığı ekolojik avantajları gölgede bırakabilecek ölçüde yüksek enerji talebi yaratabilmektedir.

#### 4. Yenilikçi Yaklaşımlar ve İyi Uygulama Örnekleri

Dijital üretim ve görsel sanatlar alanında sürdürülebilirlik arayışı, yalnızca tüketimin azaltılmasını değil, üretim süreçlerinin altyapısal olarak yeniden düşünülmesini de gerektirmektedir. Bu bağlamda, düşük enerji tüketimli yazılımlar, yeşil sunucu çözümleri, açık kaynak ekosistemi ve sürdürülebilir kodlama pratikleri ile geliştirilen yenilikçi yöntemler, bu sürecin çevresel etkilerini azaltma potansiyeli taşımaktadır. Özellikle enerji verimliliği gözetilerek tasarlanan yazılımlar, işlemci gücünü optimize eden algoritmalar ve bulut hizmetlerinde kullanılan karbon-nötr veri merkezleri, sürecin karbon ayak izinin düşürülmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Büyük teknoloji şirketlerinin yenilenebilir enerjiyle çalışan sunuculara yönelmesi ve veri merkezlerinde doğal kaynaklı soğutma teknolojilerinin uygulanması, yoğun işlem gerektiren grafik ve animasyon projelerinin toplam emisyon değerlerini önemli ölçüde azaltabilmektedir.

Açık kaynak yazılım modelleri ve sürdürülebilir kodlama pratikleri de çevresel etkinin azaltılmasına katkı sağlayan önemli stratejiler arasında yer almaktadır. Kapalı sistemlere kıyasla daha geniş topluluklarca geliştirilen ve optimize edilen açık kaynak yazılımlar, gereksiz işlem adımlarını en aza indirme ve hafifletilmiş kodlama yöntemleriyle enerji verimliliğini artırma olanağı sunmaktadır. Yazılımın modüler yapıda geliştirilmesi, kod tekrarının önlenmesi ve düşük bellek kullanımına odaklanan programlama teknikleri, veri işleme sırasında harcanan enerji miktarını azaltarak, ekolojik maliyeti düşürmektedir. Bu tür uygulamalar, yalnızca geliştiricilerin değil, tasarımcıların da dosya optimizasyonu, çözünürlük yönetimi ve veri sıkıştırma gibi pratiklerde bilinçli tercihler yapmasını desteklemektedir.

Sürdürülebilir dijital sanat projeleri, bu yenilikçi yaklaşımların somut ve ilham verici örneklerini sunmaktadır. Örneğin *Gallery Climate Coalition* tarafından desteklenen çevrimiçi sergi platformları, karbon-nötr veri merkezleri üzerinden yayın yaparak yüksek çözünürlüklü eserlerin

küresel erişimini sağlarken enerji kullanımını minimumda tutacak stratejiler geliştirmektedir. *Solar Protocol* adlı uluslararası sanat ve teknoloji projesi, internet sitelerini güneş enerjisiyle çalışan sunucular üzerinden yayınlarak ziyaretçilerin sayfa yükleme hızını o anki güneşlenme durumuna göre optimize etmekte ve enerji üretim-tüketim dengesini görünür kılmaktadır (Low Tech Magazine, 2023). Benzer biçimde, *Low Tech Magazine Solar Website* projesi, güneş enerjisiyle çalışan ve düşük bant genişliğine göre tasarlanmış bir web sitesi aracılığıyla, dijital içeriğin estetikten ödün vermeden nasıl enerji tasarruflu biçimde sunulabileceğini göstermektedir. Ayrıca, *Feral File* gibi NFT ve dijital sanat platformları, karbon ayak izini şeffaf biçimde ölçerek blok zinciri işlemlerinde düşük enerji tüketimli “proof-of-stake” yöntemlerini tercih etmekte ve her sergi için ayrıntılı emisyon raporları paylaşmaktadır. Bu projeler, sanatçıların ve kurumların yalnızca kavramsal düzeyde değil, teknik ve operasyonel düzeyde de çevresel sorumluluk üstlenebileceğini ortaya koymaktadır.

Bu iyi uygulama örnekleri, dijital sanat üretiminde çevresel duyarlılığın soyut bir etik ilke olmaktan çıkarak, yazılım geliştirme, sunucu yönetimi ve sergileme biçimlerinin ayrılmaz bir parçası haline gelebileceğini göstermektedir. Düşük enerji tüketimli yazılımlar, yenilenebilir enerjiyle çalışan sunucular ve açık kaynak kodlama stratejileri ile desteklenen bu projeler, dijital kültürde sürdürülebilirliğin yalnızca hedef değil, uygulanabilir bir pratik olarak hayata geçirilebileceğini kanıtlamaktadır.

#### 4.1. Sürdürülebilir Dijital Sanat Proje Örnekleri

##### 4.1.1. THE WASTIVE: An Interactive Ebb and Flow of Digital Fabrication Waste (THE WASTIVE: Dijital Üretim Atıklarının Etkileşimli Bir Gelgiti)

Bu proje, dijital süreçlerinden kalan atıkları alıp onlara duyuşsal bir ses-görsel deneyim kazandırmayı amaçlayan bir enstalasyonu içermektedir. “The Wastive”, dijital atıkları âtıl, atılmış kalıntılar olarak değil, sürdürülebilirlik üzerine düşünceli bir diyalogun aktif katılımcıları olarak yeniden tasarlamaktadır. Atıkları etkileşimli bir ortama dönüştüren enstalasyon, izleyicileri maddi tüketimi yeniden değerlendirmeye ve insan yaratıcılığı, teknoloji ve çevresel sorumluluğun kesişimini keşfetmeye davet etmektedir. İzleyiciler esere yaklaştığında kurulum “uyanıyor”, gelgit benzeri hareketler

2 Proof-of-stake (PoS) bir blok zinciri (blockchain) doğrulama yöntemidir. Normalde Bitcoin gibi ilk kripto sistemlerde kullanılan “proof-of-work (PoW)” yöntemi, işlemleri doğrulamak için çok büyük miktarda bilgisayar gücü ve elektrik tüketir. Bu yüzden PoW’un karbon ayak izi çok yüksektir. PoS ise çok daha enerji verimli bir alternatiftir.

ile tepki vermektedir. Burada amaç, atıkların sessiz “tanıklar” olarak rol alması; üretim ve tüketim alışkanlıklarını sorgulatmaktır. Böylece dijital atıkları etkileşimli unsurlarla birleştiren The Wastive, atılmış malzemeleri bir hikâye anlatımı ortamına dönüştürerek izleyicileri sürdürülebilirliği yeniden düşünmeye, maddi yaşam döngülerindeki rollerini fark etmeye ve teknolojik ilerleme ile ekolojik sorumluluk arasındaki hassas denge üzerine şiirsel bir diyaloga girmeye davet etmektedir. Bu sanatsal tefekkür aracılığıyla The Wastive, izleyicilerini yaratıcı süreçleri ve tüketim alışkanlıklarını yeniden değerlendirmeye yönlendirmektedir (Shan, Liu, Bidegain & Roumen 2025).



Şekil 1. *The Wastive* enstalasyonundan bir kare.

Şekil 1 The Wastive enstalasyonunun temel işleyişini göstermektedir. Çalışmada bir kamera, izleyicinin hareketlerini gerçek zamanlı olarak takip eder. Bu hareket bilgisi sisteme iletilerek yapının içine yerleştirilmiş küçük motorların çalışması sağlanır. İzleyici hareket ettikçe motorlar panellerin konumunu değiştirir ve bu paneller dalgaların inip çıkmasını andıran bir hareket üretir. Böylece, izleyicinin varlığı ve hareketiyle tetiklenen, okyanustaki gelgitleri çağrıştıran dinamik bir görsel etki ortaya çıkmaktadır.

#### 4.1.2. Benefit Game: Alien Seaweed Swarms (Fayda Oyunu: Uzaylı Deniz Yosunu Sürüleri)

*Benefit Game: Alien Seaweed Swarms*, yapay yaşam sanatı ile interaktif oyun/kurulum ortamını birleştirerek deniz yosunu ekosistemleri üzerinden insan

etkilerinin ekolojik sınırlarını ve sürdürülebilirlik ikilemlerini deneyimsel düzeyde görünür kılmak amacıyla geliştirilmiş disiplinlerarası bir projedir (Fei, Wu & Zhang, 2024). Projede, sanal bir yosun sürüsü ekosistemi ile simbiyotik mantar sistemleri (fungi) birlikte modellenmiş (Şekil 2); bu melez sistem, kullanıcıların oyun jetonları aracılığıyla gerçekleştirdiği seçimlere bağlı olarak biçim değiştirip ekosistemin güncel durumuna geri bildirim vermektedir. Böylece izleyici, yalnızca pasif bir gözlemci konumundan çıkarılarak, ekolojik kararların doğrudan sonuçlarını deneyimleyen aktif bir katılımcı haline getirilmiştir.



Şekil 2. Dijital deniz yosunu ekolojisinin bir anlık görüntüsü (Fei, Wu & Zhang, 2024).

Projenin temel teması, özellikle deniz yosunu çiftlikçiliği ve ekolojik müdahaleler bağlamında insan faaliyetlerinin doğa üzerindeki etkileri ile sürdürülebilirlik dengesi arasındaki gerilimin ortaya konmasıdır. Saccharina (Laminaria) türü yosunların ekonomik değeri ve tarihsel yayılımları, çalışmanın hem biyolojik hem de kültürel varlık olarak ele alınmasını sağlamaktadır. Bu bağlamda proje, doğanın metalaştırılması, sömürgeleştirilmesi ve kâr mantığıyla yönetilmesi gibi konuları *Plantationocene*<sup>3</sup> ve *Kapitalocene*<sup>4</sup> tartışmaları çerçevesinde yeniden

3 Plantationocene, ekolojik krizlerin kökenini özellikle sömürge döneminde kurulan monokültür plantasyon sistemleriyle ilişkilendirir. Bu kavram, doğanın metalaştırılması ve köleleştirilmiş işgücüne dayalı tarımsal sömürü düzenlerinin bugünkü ekolojik yıkımla sürekliliğini vurgular (Haraway, Tsing & Bird Rose, 2015).

4 Kapitalocene, ekolojik tahribatın temelinde insan türünün (Anthropocene yaklaşımındaki gibi) değil, kapitalist üretim biçimlerinin bulunduğunu savunur. Kapitalizmin doğayı sınırsız

düşünmeye davet etmektedir. Sistem, kullanıcı ile ekosistem arasındaki karşılıklı etkileşimi merkeze alan bir “sibernetik döngü” (cybernetic loop) yapısına sahiptir. İzleyiciler sisteme müdahil oldukça ekosistemin parametreleri değişmekte; bu değişim ekrana yansıtılarak yeni kararlar için tekrar geri bildirim oluşturulmaktadır. Kullanıcıların yosun hasadı veya mantar desteği gibi kararları, sistemdeki “ekolojik indeks” (Ecological Index, EI) üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Yüksek EI sağlıklı bir ekosistemi, düşük EI ise ekolojik baskı ve kriz koşullarını temsil eder. Aşırı hasat gibi kısa vadeli kâr odaklı kararlar ekosistemi bozarak kullanıcıları “onarım” moduna geçmeye zorlamakta; böylece ekonomik kazanç ile ekolojik denge arasındaki kırılğan ilişki somut biçimde deneyimlenebilmektedir (Fei, Wu & Zhang, 2024).

Bu kavramsal yapıyı desteklemek amacıyla prosedürel üretim ve makine öğrenmesi yöntemleri üzerine kurulmuştur. Yosun ve mantar formları; sıcaklık, tuzluluk, besin yoğunluğu, akış hızı ve ışınım gibi gerçek ekolojik parametrelerle beslenen makine öğrenmesi modelleri aracılığıyla dinamik biçimde üretilmektedir. Bu sayede her sanal bireyin formu ve büyüme parametreleri bağlamsal olarak değişebilmekte, ekosistem koşullarına göre canlı ve değişken bir görsel dünya yaratılmaktadır. Ek olarak, “oomycete<sup>5</sup>” benzeri parazit saldırılarını simüle eden hastalık modelleri, ekosistemin sürekli bakım ve yenilenmeye olan ihtiyacını vurgulamaktadır (Fei, Wu & Zhang, 2024).

Kurulumun fiziksel bileşenleri, çok ekranlı bir sergi alanı, jeton kabul sistemi, Arduino tabanlı kontrol üniteleri ve projeksiyon ekranları gibi öğelerden oluşmaktadır. İzleyiciler jetonlarla sisteme müdahale ederken, kazanılan jetonların fiziksel ürünlerle takas edilebilmesi oyunsal ekonomiyi güçlendirmekte ve kullanıcıları hem ekosistem hem de toplumsal değerlerle ilişkili karar süreçlerine dâhil etmektedir. Sergi sonrasında kaydedilen izleyici geri bildirimleri, kimi katılımcıların hızlı kâr arayışına yönelip ekosistemi krize sürüklediklerini, süreç ilerledikçe ise pişmanlık ve sorumluluk duygusunun geliştiğini ortaya koymuştur. Bu bütünlük yapı, ekolojik farkındalığı salt söylem düzeyinden çıkararak oynanabilir ve deneyimlenebilir bir düzleme taşımaktadır. Kullanıcının kararlarının anlık ve gözle görülür sonuçlar doğurması, insan-ekosistem ilişkisini soyut teorik tartışmalardan ziyade somut ve bedensel bir deneyime dönüştürmektedir. Bununla birlikte, projenin çoklu ekran, yüksek işlem gücü ve sürekli veri

---

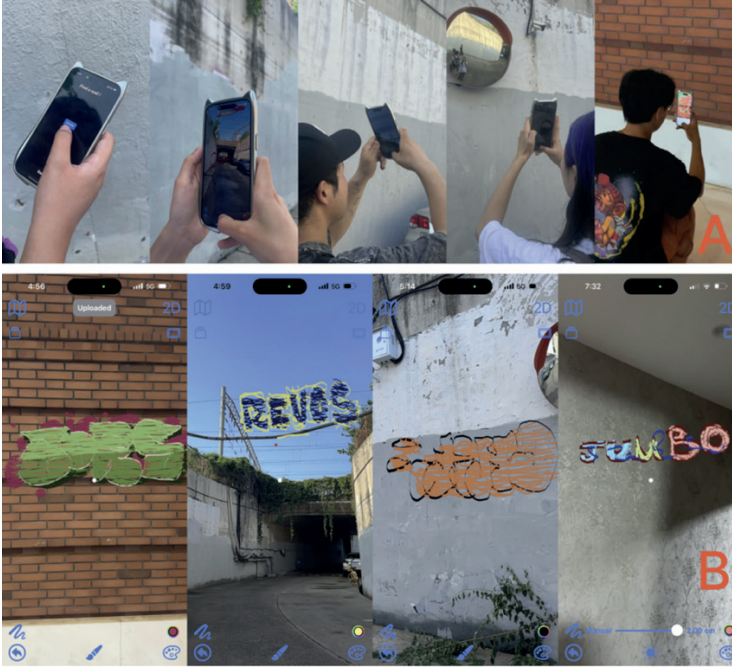
bir kaynak olarak görerek sürekli metalaştırması ve büyüme mantığı, ekolojik krizin asıl belirleyicisi olarak değerlendirilir (Moore, 2016).

5 Günümüzde Oomycota olarak geniş bir fungal benzeri organizma olarak tanımlanmaktadır (Kurt, 2020).

işleme gibi yoğun hesaplama gerektiren teknik altyapısı, dijital sanatın kendi ekolojik maliyetini de gündeme getirmektedir. Bu durum, çevre odaklı sanat projelerinin dahi dijital üretim pratiklerinin karbon ayak iziyle yüzleşmesi gerektiğini hatırlatmakta; teknolojik müdahalenin hem çözüm hem de sorun üretme potansiyelini eleştirel biçimde görünür kılmaktadır. *Benefit Game: Alien Seaweed Swarms*, dijital sanat, oyun tasarımı ve ekolojik düşünceyi bir araya getirerek sürdürülebilirlik, insan-doğa dengesi ve teknolojik müdahale temalarını interaktif bir ortamda sorgulayan güçlü bir örnek oluşturmaktadır. İzleyicinin aktif katılımını merkeze alan bu proje, ekolojik sorumluluk bilincini duyumsal ve etkileşimli bir deneyim üzerinden yeniden düşünmeye davet etmektedir.

#### 4.1.3. GestoBrush

GestoBrush, sokak sanatçılarının, özellikle grafiti yapanların, dijital ortamda, artırılmış gerçeklik (AR) aracılığıyla mekânla etkileşimli, gövde tabanlı (“embodied”) sanatsal üretim gerçekleştirmesini hedefleyen bir mobil prototip sistemdir. Klâsik grafiti pratiğinin getirdiği fiziksel sınırlamalar (geri silme, yüzeyin izin vermemesi, yasal kısıtlamalar, boya ve malzeme maliyetleri) göz önüne alındığında, GestoBrush bu sınırlamaların bir kısmını aşarak sanatçıya daha özgür ve çevreyle doğrudan ilişki kurabileceği bir üretim zemini sunmayı amaçlamaktadır. Sistem, telefonu bir “sanal sprey kutusu” hâline getirerek kullanıcının el ve vücut hareketlerini AR çizim aracı olarak kullanırken; telefon kamerası aracılığıyla görüntülenen gerçek dünya yüzeyleri üzerinde AR grafiti etiketleri/çizimleri “boyamak” mümkün olmaktadır. Proje, sokak sanatçılarının (grafiti yapanlar gibi) dijital ortamda, AR (Arttırılmış Gerçeklik) kullanarak mekânla etkileşimli, gövde/mekân bazlı (embodied) sanatsal üretim yapmalarına imkân tanımaktadır (Şekil 3). Fizikle, mekânla, çevreyle bağ kurarak, gerçek hayattaki boya, alan kullanımı gibi çevresel maliyetleri azaltabilecek dijital alternatifler sunmaktadır.



Şekil 3. Kullanıcı çalışması sırasında sanatçıların GestoBrush aracılığıyla oluşturduğu grafiti çalışmaları (Chen, He, Bao, Choi & Tong, 2025).

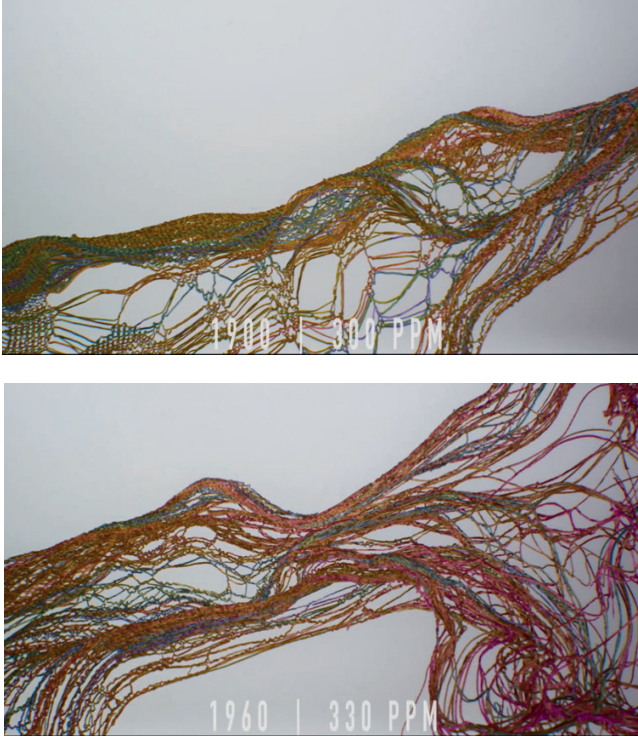
GestoBrush, fiziksel malzeme tüketimi ve kentsel yüzey kullanımına dayanan geleneksel grafiti üretiminin çevresel yüklerini azaltma potansiyeli ile sürdürülebilirlik açısından dikkate değer bir model sunmaktadır. Geleneksel grafiti, sprey boya kullanımına bağlı olarak uçucu organik bileşik (VOC) salımı, yüzey kirliliği, temizlik için kullanılan kimyasal çözücüler ve sürekli malzeme tüketimi gibi çevresel maliyetler doğururken, GestoBrush'un AR tabanlı dijital yaklaşımı, bu fiziksel tüketimi ortadan kaldırarak karbon emisyonu ve toksik madde kullanımını minimize etmektedir. Ayrıca, boyama yüzeylerinin yenilenmesi veya temizlik işlemleri için gereken su, enerji ve kimyasal maddelerin tüketimi de dijital üretimde bulunmadığı için ekolojik ayak izini önemli ölçüde düşürmektedir. Bununla birlikte, dijital tasarım üretiminin kendi altyapısal maliyetleri de göz ardı edilmemelidir. AR teknolojisinin sürekli kamera kullanımı, işlemci gücü ve veri aktarımı, elektrik enerjisine dayalı bir karbon ayak izi yaratmaktadır (Lannelongue, Grealey & Inouye, 2020). Bu nedenle GestoBrush, fiziksel malzeme tüketimini azaltırken, enerji kaynaklı emisyonlarını da göz önünde bulundurarak enerji verimli yazılım geliştirme, düşük güç tüketimli cihaz optimizasyonu ve yenilenebilir enerjiyle çalışan sunucu altyapısı gibi sürdürülebilirlik stratejileriyle desteklenmelidir. Bu ikili yapı, sürdürülebilir

dijital sanat pratiklerinin yalnızca malzeme tasarrufu değil, aynı zamanda enerji yönetimiyle de ilişkilendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

#### 4.1.4. From Green to Red – Beatie Wolfe

Dijital sanatçı ve müzisyen Beatie Wolfe tarafından geliştirilen *From Green to Red*, iklim krizinin tarihsel boyutunu sanat, veri görselleştirme ve müzik aracılığıyla deneyimlenebilir hale getiren bir dijital sanat projesidir. Wolfe, projeyi “*our planet’s story in a single data visualization*” (gezegenimizin hikâyesini tek bir veri görselleştirmesi içinde sunma girişimi) olarak tanımlamakta ve “*turning 800,000 years of NASA data into a visceral experience*” (800.000 yıllık NASA verisini duyumsanabilir bir deneyime dönüştürmek) amacını vurgulamaktadır (Wolfe, 2021a).

Proje, NASA’nın 800.000 yıllık atmosferik karbondioksit kayıtlarına dayanmaktadır. Bu veriler, görsel bir zaman akışı şeklinde işlenerek “yeşilden kırmızıya” doğru kademeli bir renk dönüşümü ile temsil edilmiştir (Şekil 4) Yeşil tonları endüstri öncesi dönemin düşük emisyon seviyelerini, kırmızı tonları ise günümüzde ulaşılan kritik yoğunlukları simgelemektedir. Wolfe’un ifadesiyle “*the planet literally shifts from green to red before your eyes*” (“gezegen gözlerinizin önünde yeşilden kırmızıya kayıyor”) (Wolfe, 2021b). Bu renk geçişi, iklim krizinin soyut istatistikler yerine duygusal bir deneyim olarak algılanmasını hedeflemektedir.



Şekil 4. From Green to Red dönüştürme sahnesi ekran görüntüleri (Ars Electronica, 2021).

Veri görselleştirmesi, sanatçının aynı adı taşıyan şarkısıyla senkronize edilmiştir. Wolfe bu eşleşmeyi “*an elegy and a call to action at the same time*” (“aynı anda hem bir ağıt hem de eyleme çağrı”) olarak nitelendirmektedir (Ars Electronica, 2021). Böylece izleyici yalnızca görsel bir akışa değil, müzikal bir anlatıya da maruz kalarak duygusal bağ kurabilmektedir.

*From Green to Red* farklı mekân ve formatlarda sergilenmiştir. 2021 London Design Biennale kapsamında gerçekleştirilen interaktif kurulumda izleyiciler “*could step inside 800,000 years of climate data*” (“800.000 yıllık iklim verisinin içine adım atma”) fırsatına sahip olmuştur (London Design Biennale, 2021). Aynı yıl, COP26 İklim Zirvesi sırasında Glasgow’da büyük ölçekli bina projeksiyonları ile sunulan proje, kamusal alanda geniş kitlelere ulaşarak küresel iklim krizine yönelik farkındalığı artırmayı hedeflemiştir. Wolfe’nin bu çalışması, bilimsel veriyi sanatsal bir deneyime dönüştürürken dijital altyapının kendi çevresel maliyetlerini de gündeme getirmektedir. Bu yaklaşım, çevre odaklı dijital sanatın hem farkındalık yaratma hem de kendi üretim süreçlerinin karbon ayak iziyle yüzleşme gerekliliğini ortaya koymaktadır.

#### 4.1.5. Nature Manifesto – Björk & Aleph Molinari

Nature Manifesto, İzlandalı sanatçı ve müzisyen Björk ile küratör ve multimedya sanatçısı Aleph Molinari iş birliğinde üretilmiş, doğa ile insan arasındaki kırılgan dengeyi işitsel ve mekânsal bir manifesto biçiminde deneyimlemeye açan çok katmanlı bir dijital sanat projesidir. Proje, 20 Kasım – 9 Aralık 2024 tarihleri arasında Paris'teki Centre Pompidou'da, “*Biodiversity: Which culture for which future?*” (Biyçeşitlilik: Hangi kültür hangi gelecek için?) forumu kapsamında sergilenmiştir (Centre Pompidou, 2024). Çalışma, özellikle biyolojik çeşitlilik kaybı, iklim krizi ve insan müdahalesinin geri döndürülemez sonuçlarına dair aciliyet duygusunu sanat yoluyla görünür kılmayı hedeflemiştir.

Projenin kavramsal çerçevesi, Björk'ün kendi sözleriyle “*the apocalypse has already happened and how we will act now is essential*” (kıyamet çoktan gerçekleşti ve şimdi nasıl davranacağımız belirleyici) ifadesinde somutlaştırılmıştır (Centre Pompidou, 2024). Bu yaklaşım, ekolojik krizin geleceğe dair bir olasılık değil, halihazırda süren bir gerçeklik olduğunu vurgulamaktadır. Enstalasyon, Pompidou'nun ünlü dış yürüyen merdiveninde (Caterpillar) konumlandırılmıştır; ziyaretçiler hareketli bant boyunca ilerlerken çok kanallı ses sisteminden yayılan manifestoyu dinler ve böylece bedensel bir geçiş ile ekolojik dönüşüm arasındaki metaforik bağ deneyimlenmiş olmaktadır (Artnet News, 2024).



Şekil 5. 6. Nature Manifesto dijital sanat projesinden ekran görüntüleri (Dazed Digital, 2024).



Şekil 7. 8. Nature Manifesto dijital sanat projesinden ekran görüntüleri (Dazed Digital, 2024).



Şekil 9. *Nature Manifesto* dijital sanat projesinden ekran görüntüleri (Dazed Digital, 2024).

Teknik olarak proje, IRCAM iş birliğiyle geliştirilen yapay zekâ (AI) destekli ses modelleme ve d&b Soundscape uzamsal ses teknolojileriyle gerçekleştirilmiştir. Nesli tükenmiş veya tehlike altındaki hayvan türlerine ait kayıtlar, mevcut doğa sesleri ve AI tarafından yeniden üretilen biyofonik<sup>6</sup> unsurlar, Björk’ün vokalleriyle harmanlanarak dinleyicinin çevresel kayıp ile teknolojik yeniden üretim arasındaki gerilimi hissetmesini sağlar (Centre Pompidou, 2024; d&b Audio, 2024). Görsel boyutta ise sanatçı Sam Balfus’un yapay zekâ destekli animasyonları, sürekli değişen biyomorfik<sup>7</sup> formlarla işitsel deneyimi tamamlar (NECSUS, 2024).

Nature Manifesto’nun en dikkat çekici boyutlarından biri, teknolojiyi hem içerik hem de araç olarak kullanırken kendi karbon ayak izine dair taşıdığı paradokstur. Projenin ses üretiminde kullanılan yapay zekâ modelleri ve yüksek kanallı uzamsal ses altyapısı, enerji yoğun işlem süreçleri ve büyük ölçekli donanım gereksinimi nedeniyle belirli bir karbon maliyetine sahiptir. Molinari bu konuda, *“technology must be used frugally if we are to create without destroying further”* (teknolojiyi üretirken daha fazla tahribat yaratmamak için tutumlu kullanmalıyız) diyerek düşük işlem gücüyle çalışan “frugal AI” yaklaşımlarını tercih ettiklerini belirtmiştir. Bu yöntem,

6 Biyofonik: Biyofoni terimi, ekoloji ve ses çalışmaları literatüründe, bir ekosistemdeki hayvan türlerinin ürettiği tüm doğal seslerin bütünüdür.

7 Biyomorfik: Yunanca “bios” (yaşam) ve “morphē” (biçim) sözcüklerinden türetilmiştir. Sanat ve tasarım alanında, doğadaki canlı formları andıran, fakat birebir taklit etmeyen organik biçimleri tanımlamak için kullanılır.

büyük veri modellerinin yerine daha az enerji tüketen yerel sunucu tabanlı çözümler kullanarak hesaplama yükünü azaltmayı hedefler. Bununla birlikte, sürdürülebilirlik yalnızca enerji tüketimini minimize etmekle sınırlı değildir. Eser, doğanın insan dışı seslerinin yapay zekâ ile yeniden üretilmesi yoluyla, ekolojik kaybın dijital teknolojiler aracılığıyla kısmen “telafi” edilebileceği yönünde düşündürücü bir ironi barındırır. Bu durum, dijital sanatın çevre bilincini yükseltirken aynı zamanda veri işleme, depolama ve gösterim için enerji talep ederek ekosistem üzerinde yeni baskılar yaratabileceğini ortaya koyar. Dolayısıyla Nature Manifesto, kendi üretim biçimiyle sürdürülebilirlik kavramını eleştirel bir düzleme taşıırken, teknolojinin hem çözüm hem de sorun üreten doğasını görünür kılmaktadır.

## 5. Sonuç

Bu çalışmada dijital üretim ile karbon ayak izi arasındaki ilişkinin görsel sanatlar açısından hem fırsatlar hem de riskler içeren çok katmanlı bir paradoks oluşturduğuna dikkat çekilmeye çalışılmıştır. İlk bölümde ayrıntılı biçimde incelenen dijital üretim ekosistemi, donanım üretiminden veri merkezlerinin işleyişine, yazılım altyapısından küresel enerji ağlarına kadar uzanan geniş bir alanı kapsamakta ve bu süreçlerin her biri yüksek enerji talebi ile doğrudan bağlantılı bulunmaktadır. Böylece dijital sanat üretimi, yüzeyde fiziksel malzeme tüketimini azaltarak “yeşil” bir alternatif gibi görünse de arka planda büyük ölçüde fosil yakıtlara dayalı enerji sistemlerine bağımlı olan karmaşık bir altyapıya yaslanmaktadır. Bu ekosistem tartışmasının ardından ikinci bölümde ele alınan kağıtsız üretim söylemi, dijitalleşmenin görünür ve görünmez maliyetleri arasındaki dengeyi sorgulamaya yöneltmiştir. Kâğıt ve baskı malzemesi kullanımındaki azalmanın, render süreçlerinin enerji ihtiyacını ve elektronik atık üretimini otomatik olarak dengeleyemeyeceği vurgulanmıştır. Bu bağlamda materyal tasarrufu ile artan enerji tüketimi arasındaki çelişki, dijitalleşmenin her durumda çevresel açıdan daha temiz olduğu varsayımını geçersiz kılmakta; veri merkezlerinin enerji kaynakları, cihazların üretim ve kullanım ömürleri ile elektronik atık yönetimi gibi unsurların da sürdürülebilirlik tartışmasının ayrılmaz parçaları olduğunu göstermektedir. Bu bulgular üzerine üçüncü bölümde tartışılan tasarım sürecindeki çevresel karar noktaları, bireysel tasarımcı tercihlerinin bu altyapısal sistem içindeki önemini açığa çıkarmaktadır. Proje ölçeğinin belirlenmesi, dosya boyutu ve çözünürlük optimizasyonu, tipografi ve renk seçimleri gibi görece küçük görünen yaratıcı kararların dahi enerji tüketimi ve karbon emisyonu üzerinde doğrudan etkili olduğu ortaya konmuştur. Aynı zamanda sürdürülebilir baskı alternatiflerinin (geri dönüştürülmüş kâğıt, bitkisel bazlı mürekkep, düşük enerji tüketimli baskı teknikleri) dijital

dağıtımla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi, tek boyutlu “dijital = yeşil” yaklaşımını kıran somut veriler sunmuştur. Bu geçiş, dijital ve fiziksel üretim biçimlerinin birbirinin alternatifi değil, karmaşık bir ekolojik denge içinde yeniden düşünülmesi gerektiğini göstermektedir.

Bu çerçevede dördüncü bölümde ele alınan yenilikçi yaklaşımlar ve iyi uygulama örnekleri, dijital üretimin karbon maliyetini azaltmaya yönelik stratejilerin pratikte uygulanabilir olduğunu kanıtlamaktadır. Solar Protocol ve Low Tech Magazine Solar Website gibi düşük enerji tüketimli web platformları, Feral File’ın blok zinciri işlemlerinde şeffaf emisyon raporlaması ve karbon-nötr veri merkezleri üzerinden yayın yapan çevrimiçi sergi platformları; yazılım optimizasyonu, yenilenebilir enerji kullanımı ve düşük güç tüketimli altyapı tasarımlarının ekolojik kazanımlarını açıkça göstermektedir. Böylelikle önceki bölümlerde ortaya konan sorunlar, yalnızca teorik bir eleştiri alanı olarak kalmamakta, uygulanabilir teknik ve yönetsel çözümlerle de desteklenmektedir.

Genel çerçeveye ek olarak, bölümde incelenen sanatsal proje örnekleri sürdürülebilirlik söylemini somutlaştırarak dijital sanatın ekolojik potansiyelini ve risklerini aynı anda gözler önüne sermektedir. *The Wastive* projesi, dijital üretim atıklarını yeniden dolaşıma sokarak malzeme döngüsünü şiirsel bir etkileşim aracına dönüştürmekte; *Benefit Game: Alien Seaweed Swarms* kullanıcının kararlarını ekolojik dengeye bağlayan bir oyun kurgusu üzerinden enerji ve kaynak yönetimi bilincini deneyimsel olarak pekiştirmektedir. *GestoBrush*, geleneksel grafiti’nin boya ve solvent kaynaklı çevresel yüklerini ortadan kaldıran AR tabanlı üretim modeliyle, fiziksel malzeme tasarrufunun dijital enerji maliyetleriyle nasıl dengelenmesi gerektiğini göstermektedir. *From Green to Red*, NASA’nın 800.000 yıllık atmosferik CO<sub>2</sub> verisini görsel-işitsel bir anlatıya dönüştürerek iklim krizinin tarihsel seyrini duyumsal bir deneyime çevirirken, büyük ölçekli projeksiyonların kendi karbon ayak izine dikkat çekmektedir. *Nature Manifesto* ise yapay zekâ destekli ses modellemesi ve frugal AI teknikleri ile biyoçeşitlilik kaybına karşı güçlü bir manifesto sunarken, düşük enerji tüketimli hesaplama stratejileri ile dijital üretimin sürdürülebilir biçimlerde gerçekleştirilebileceğini örneklemektedir. Bu bütüncül analiz, dijital sanat ve tasarım alanındaki sürdürülebilirlik tartışmasının yalnızca malzeme tasarrufuna indirgenemeyeceğini, enerji yönetimi, yazılım optimizasyonu ve şeffaf karbon raporlaması gibi teknik boyutların da aynı derecede önemli olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla dijital üretim ne tek başına bir kurtuluş ne de kaçınılmaz bir tehdit olarak konumlandırılmalıdır; asıl mesele, teknolojinin sunduğu yaratıcı olanakların enerji verimliliği ve etik sorumluluk ilkeleriyle bütünleştirilmesidir.

Bu bağlamda, görsel sanatlar için sürdürülebilirlik stratejilerinin yalnızca malzeme tasarrufuna değil, aynı zamanda altyapısal ve etik boyutlara da odaklanması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji ile çalışan veri merkezlerinin tercih edilmesi, düşük karbonlu altyapıların yaygınlaştırılması, dosya boyutu ve çözünürlük optimizasyonu gibi teknik düzenlemelerle enerji verimliliğinin gözetilmesi, ayrıca donanım ömrünü uzatmaya yönelik onarım, yeniden kullanım ve geri dönüşüm pratiklerinin teşvik edilmesi bu stratejilerin temel taşlarıdır. Buna ek olarak, üretim süreçlerine ilişkin karbon ayak izinin şeffaf biçimde raporlanması ve izleyiciyle paylaşılması, yalnızca teknik değil aynı zamanda kültürel ve etik bir sorumluluk alanı yaratmaktadır. Bu çok boyutlu yaklaşım, sanatçıların ve kurumların ekolojik farkındalığı yalnızca söylem düzeyinde değil, uygulama düzeyinde de somutlaştırmalarına imkân tanımaktadır.

Sonuç olarak, dijital sanat üretimi ne tamamen çevresel bir çözüm ne de tek başına bir tehdit olarak görülmelidir. Asıl mesele, teknolojik olanakların enerji verimliliği, yenilenebilir kaynak kullanımı, yazılım optimizasyonu ve şeffaf karbon raporlaması gibi bütüncül stratejilerle desteklenerek yeniden düşünülmesidir. Böylece, dijitalleşmenin sunduğu yaratıcı imkânlar ekolojik riskleri artıran bir unsur olmaktan çıkarak, sürdürülebilir bir görsel kültürün inşasında dönüştürücü bir potansiyele dönüştürülebilir.

## Kaynakça

- Ars Electronica. (2021). *From Green to Red*. Ars Electronica HOPE. Erişim: <https://ars.electronica.art/hope/en/from-green-to-red> (E.T.:06.09.2025)
- Artnet News. (2024). *Björk Debuts a Sound Installation at the Centre Pompidou That Channels the Sounds of Nature*. Erişim: <https://news.artnet.com/art-world/bjork-sound-installation-centre-pompidou-2569145> (E.T.:05.09.2025)
- Centre Pompidou. (2024). *Nature Manifesto – Björk & Aleph Molinari*. Erişim: <https://www.centrepompidou.fr/en/bjoerk-aleph> (E.T.:12.09.2025)
- Chen, R., He, Q., Bao, H., Choi, J., & Tong, X. (2025). GestoBrush: Facilitating Graffiti Artists' Digital Creation Experiences through Embodied AR Interactions. arXiv preprint arXiv:2509.05619.
- d&b Audio. (2024). *Björk Presents Nature Manifesto in Paris with d&b Soundscape*. Erişim: <https://www.dbaudio.com/global/en/about-db/press/newsroom/bjoerk-presents-nature-manifesto-in-paris-with-db-soundscape> (E.T.:02.10.2025)
- Dazed Digital. (2024). *Björk: "The Apocalypse Has Already Happened" – Nature Manifesto at Pompidou*. Erişim: <https://www.dazeddigital.com/music/article/65618/1/bjork-apocalypse-has-already-happened-nature-manifesto-pompidou-aleph-molinari> (E.T.:10.09.2025)
- Demir, Ö. Ü. H. (2024). Tüketim Kültürü: Grafik Tasarım ve Reklam Endüstrisinin Görsel ve Ekolojik Kirliliğe Etkileri Öz. *The Journal of Academic Social Science*, (117), 97-110.
- Fei, D. L., Wu, Z. W., & Zhang, K. (2024). "Benefit Game: Alien Seaweed Swarms"--Real-time Gamification of Digital Seaweed Ecology. arXiv preprint arXiv:2408.17186.
- Gallery Climate Coalition. (2025). *Digital*. Erişim: <https://galleryclimatecoalition.org/digital> (E.T.:12.09.2025)
- Haraway, D., Tsing, A., & Bird Rose, D. (2015). Anthropologists Are Talking About the Anthropocene. *Ethnos*.
- Lannelongue, L., Grealey, J., & Inouye, M. (2020). Green Algorithms: Quantifying the carbon footprint of computation. *arXiv preprint arXiv:2007.07610*.
- London Design Biennale. (2021). *Beatie Wolfe – From Green to Red*. Erişim: <https://londondesignbiennale.com/pavilions/2021/beatie-wolfe> (E.T.:13.09.2025)
- Low Tech Magazine. (2023). *Solar Powered Website*. Erişim: <https://solar.lowtechmagazine.com> (E.T.:05.09.2025)

- Mazlum, H. (2024a). Dijital Pazarlamada Etkileşim Gücü: Hareketli Grafiklerin Rolü. *Uluslararası Sanat ve Estetik Dergisi* Yıl: 7, Sayı: 14, Aralık 2024, S: 119-134.
- Mazlum, H. (2024b). Çağdaş sanat eğitiminde dijital teknolojinin rolü. *Uluslararası İnsan ve Sanat Araştırmaları Dergisi*, 9(4), 345-358.
- Moore, J. W. (2016). Anthropocene or Capitalocene? Nature, History, and the Crisis of Capitalism. PM Press.
- NECSUS European Journal of Media Studies. (2024). *Butterflies and Caterpillars in Technological Environments: Björk and Aleph Molinari's Nature Manifesto*. Erişim: <https://necsus-cjms.org/butterflies-and-caterpillars-in-technological-environments-bjorks-alephs-nature-manifesto> (E.T.:01.10.2025)
- Shan, Y., Liu, B., Bidegain, S., & Roumen, T. (2025). THE WASTIVE: An Interactive Ebb and Flow of Digital Fabrication Waste. arXiv preprint arXiv:2505.21153.
- Şener, KURT. (2020). Bitki Fungal Hastalıkları, Akademisyen Kitabevi, Ankara.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2023). *Global E-waste Monitor*. <https://www.unep.org/annualreport/2023> (E.T.:12.09.2025)
- Wolfe, B. (2021a). *Our Planet – From Green to Red*. Beatie Wolfe Official Website. Erişim: <https://beatiewolfe.com/our-planet> (E.T.:01.10.2025)
- Wolfe, B. (2021b). *From Green to Red Experience*. Beatie Wolfe Official Website. Erişim: <https://beatiewolfe.com/from-green-to-red-experience> (E.T.:25.09.2025)
- Wonderland Studio. (2022). *The State of Sustainable Digital Design Report*. Erişim: <https://www.datocms-assets.com/57413/1669722187-the-state-of-sustainable-digital-design.pdf> (E.T.:25.09.2025)
- World Wide Fund for Nature (WWF). (2022). *Sustainable Printing and Paper Use Guidelines*. [https://www.wwf.org.uk/sites/default/files/publications/Feb25/WWF-UK\\_sustainable\\_office\\_guide\\_2025\\_0.pdf](https://www.wwf.org.uk/sites/default/files/publications/Feb25/WWF-UK_sustainable_office_guide_2025_0.pdf) (E.T.:25.09.2025)