

**BİLİMSEL VERİNİN SANATSAL DÖNÜŞÜMÜ: YAPAY
ZEKÂ DESTEKLİ BİLİMSEL GÖRSELLEŞTİRMELER**

THE ARTISTIC TRANSFORMATION OF SCIENTIFIC
DATA: AI-ASSISTED SCIENTIFIC VISUALIZATIONS

Semra ÇAM SÖNMEZ, Elif ERGEN

27

BİLİMSEL VERİNİN SANATSAL DÖNÜŞÜMÜ: YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ BİLİMSEL GÖRSELLEŞTİRMELER ¹

THE ARTISTIC TRANSFORMATION OF SCIENTIFIC DATA: AI-ASSISTED SCIENTIFIC VISUALIZATIONS

Semra ÇAM SÖNMEZ ², Elif ERGEN ³

Anahtar Kelimeler:

Bilimsel Görselleştirme,
Yapay Zekâ,
Bilim İletişimi,
Grafik Tasarımı,
Sanat.

Keywords:

Scientific Visualization,
Artificial Intelligence,
Science
Communication,
Graphic Design,
Art

ÖZ

Bilimsel verilerin doğru bir şekilde anlaşılması, yorumlanması ve daha geniş kitlelere etkili biçimde aktarılması açısından görselleştirme son derece önemli bir araçtır. Özellikle çok boyutlu, büyük ölçekli ve soyut veri kümeleriyle çalışılan günümüz bilimsel araştırmalarında, geleneksel yöntemler artan veri miktarı ve karmaşık yapılar karşısında yetersiz kalmaktadır. Yapay zekâ; veri işleme, simülasyon, eksik veri tamamlama gibi özellikleriyle karmaşık kavramları görsel olarak doğru ve anlaşılır hale getirirken, estetik bir boyut ekleyerek bilim iletişimini sanatsal bir anlatıma dönüştürmektedir. Çalışma, bu yeni yaklaşımların bilimsel keşif süreçlerine olan katkılarını görünür kılmayı ve gelecekte daha derin bir bilimsel anlayış geliştirilmesine zemin hazırlamayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda bilimsel verilerin görsel sunumunda yapay zekâ destekli üretim araçlarının sunduğu estetik ve anlatısal olanaklar irdelenmiştir. Betimsel analiz ve karşılaştırmalı içerik çözümlemesi yöntemleri kullanılarak, farklı yapay zekâ araçlarıyla üretilen bilimsel görseller; estetik değer, görsel algı, bilimsel doğruluk ve anlatı gücü açısından değerlendirilmiştir. Görsellerin üretiminde kullanılan istemler sabit tutulmuş; her araçtan elde edilen çıktılar, referans görseller ile bağlamsal analiz çerçevesinde karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular, yapay zekâ destekli üretimlerin yalnızca teknik açıdan değil, aynı zamanda kavramsal ve estetik düzeyde de anlam üretme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda çalışma hem bilimsel iletişim hem de yaratıcı görselleştirme süreçleri açısından disiplinlerarası bir katkı sunmayı hedeflemektedir.

ABSTRACT

Visualization is a crucial tool for accurately understanding, interpreting, and effectively communicating scientific data to wider audiences. In contemporary research, which often involves multidimensional, large-scale, and abstract datasets, traditional methods struggle with increasing data volumes and complexity. Artificial intelligence, with its capabilities in data processing, simulation, and missing data imputation, can transform complex concepts into clear, accurate visual representations while adding an aesthetic dimension that turns scientific communication into an artistic narrative. This study explores how these new approaches contribute to scientific discovery and foster deeper understanding. Using descriptive and comparative content analysis, visuals generated with different AI tools were evaluated for aesthetic value, visual perception, scientific accuracy, and narrative strength. Prompts were kept constant, and outputs from each tool were compared using reference images within a contextual analysis framework. Findings show that AI-assisted productions can generate meaning not only technically but also conceptually and aesthetically. This study aims to make an interdisciplinary contribution to both science communication and creative visualization practices.

¹ Bu makale, Semra Çam Sönmez'in Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü Grafik Anasanat Dalı'nda Doç. Elif Ergen'in danışmanlığında yürüttüğü sanatta yeterlik tezinden hareketle üretilmiştir.

² Öğretim Görevlisi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, semra.cam@comu.edu.tr, 0000-0003-1360-5167.

³ Doçent, Hacettepe Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, elifvarolergen@gmail.com, 0000-0003-1222-5699.

Alıntılanmak için/Cite as:
Çam Sönmez S. ve Ergen E. (2025). Bilimsel Verinin Sanatsal Dönüşümü: Yapay Zekâ Destekli Bilimsel Görselleştirmeler, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 34 (Özel Sayı), 474-492

GİRİŞ

Bilimsel veriler, genellikle soyut ve karmaşık yapıları nedeniyle geniş kitleler tarafından anlaşılması güç olabilir. Ancak bu verilerin anlamlandırılması ve etkili bir şekilde paylaşılmasında, görselleştirme teknikleri kilit bir rol oynamaktadır. Geleneksel görselleştirme yöntemleri doğruluk, basitlik ve nesnellik ilkelerine dayanırken, artan veri miktarı ve çok boyutlu yapıların varlığı, bu tekniklerin sınırlarını daha belirgin hale getirmiştir. Bunun yanı sıra, farklı bilgi düzeylerine sahip ve giderek çeşitlenen izleyici kitlesi, görselleştirme süreçlerinde daha yaratıcı ve yenilikçi yöntemlere olan ihtiyacı artırmaktadır.

Yapay zekâ, yalnızca veriyi işlemekle kalmaz, aynı zamanda karmaşık kavramları daha anlaşılır ve görsel olarak etkileyici bir forma dönüştürebilir. Makine öğrenimi ve üretken yapay zekâ modelleri; veri sınıflandırma, yeniden yapılandırma, simülasyon hızlandırma ve eksik veri tamamlama gibi işlevleriyle bilimsel keşiflerde yeni yollar açmaktadır (Gajani, 2023). Bu sayede soyut bilimsel kavramlar görselleştirilebilir hale gelirken, karmaşık veri setleri etkileşimli ve açıklayıcı görsel anlatımlara dönüşmektedir. Son yıllarda yapay zekâ teknolojilerinde yaşanan ilerlemeler, bilimsel verilerin yalnızca teknik doğrulukla değil, aynı zamanda estetik de uyumlu bir şekilde sunulmasını mümkün kılmıştır. Karmaşık ve soyut kavramların görselleştirilmesi, yapay zekânın gücüyle estetik bir boyut kazanmıştır. Bilimin sanatla buluştuğu bu noktada bilimsel iletişimde estetiği öne çıkarmak, görselleştirmeyi bir sanat formu olarak yeniden tanımlayabilir. Samsel ve diğerleri (2018), görselleştirmenin yalnızca veri temsilinden öteye geçerek, sanatsal ve estetik unsurları bir araya getirdiğinde izleyici ile daha derin bir duygusal ve entelektüel bağ kurduğunu belirtmiştir. Yapay zekânın görselleştirme süreçlerindeki rolü, yalnızca bilimsel bilginin etkili bir şekilde aktarımını sağlamakla kalmamakta, aynı zamanda izleyicilerin bilimsel içeriklerle etkileşimini dönüştürerek daha güçlü bir deneyim sunmaktadır. Bu bağlamda yapay zekânın, bilimsel veriyi birleştirici bir araç olarak kullanıp bilim ile sanat arasında bir köprü oluşturma potansiyeline dikkat çekilmektedir.

Bu çalışma, bilimsel görselleştirme süreçlerinde yapay zekâ

destekli üretim araçlarının sunduğu olanakları inceleyerek bu araçların hem bilimsel doğruluk hem de estetik etki açısından sağladığı katkıları tartışmakta ve bu sürecin disiplinlerarası niteliklerini ortaya koymaktadır. Çalışmanın önemi, geleneksel veri görselleştirme yöntemlerinin ötesine geçerek, izleyiciyle duygusal ve estetik düzeyde bağ kuran üretimlerin, bilimsel iletişimde yaratıcı anlatı biçimleri geliştirme potansiyelinde yatmaktadır. Araştırma kapsamında hem literatürdeki teorik yaklaşımlar ele alınmış, hem de üretken yapay zekâ araçlarıyla üretilen örnekler üzerinden uygulamalı çözümlemeler gerçekleştirilmiştir. Yöntemsel olarak ise, betimsel analiz ve karşılaştırmalı içerik analizi temelinde, görsel üretim süreçlerinin nitel çözümlemesi yapılmıştır.

Bilimsel Görselleştirmenin Yeni Çağı

Günümüzde bilim insanları yalnızca araştırma yapmakla kalmayıp, çalışmalarını daha geniş kitlelere ulaştırmak ve etkileyici hale getirmek amacıyla medya ve iletişim araçlarıyla daha fazla ilgilenmek zorundadır. Görselliğin ve deneyim odaklı kültürlerin yükselişi, bilimsel araştırmaların sunumunu değiştirmiştir. Bilimsel görselleştirmenin tarihsel gelişimi incelendiğinde, geleneksel tekniklerin genellikle veriyi sade bir şekilde temsil etmekle sınırlı kaldığı görülmektedir. Ancak teknolojideki ilerlemeler, özellikle yapay zekânın kullanımı, bu durumu kökten değiştirmiştir. Yapay zekâ, karmaşık veri kümelerini görselleştirme yeteneğiyle bilimsel bilgiyi hem daha erişilebilir hem de daha anlaşılır hale getirmiştir. Bu dönüşüm, bilimsel bilginin yalnızca uzmanlar arasında değil, genel halk tarafından da anlaşılabilir olmasını sağlamaktadır.

Yapay zekâ son yıllarda bilim insanları için “alet kutusundaki yeni bir araç” olarak tanımlanmış ve “yapay aklar ile makine öğreniminin bilimi devrimleştirdiği” ifade edilmiştir (Krenn vd., 2022). Yapay zekâ sistemleri, başka yöntemlerle görselleştirilemeyen veya araştırılamayan süreçlerin ve nesnelerin incelenmesini sağlayarak bilimsel anlayışa katkıda bulunabilir (Wang, vd. 2023). Özellikle büyük veri kümeleri üzerinde çalışan yapay zekâ sistemleri, daha önce fark edilmemiş bağlantıları ortaya çıkarabilmekte ve bilim insanlarına yeni araştırma fikirleri sunmaktadır. Bu teknolojiler, araştırmacıların verilerini daha iyi anlamalarına ve bu verilere dayalı bilinçli kararlar

almalarına olanak tanımaktadır (Editverse, t.y.). Ayrıca, yapay zekâ destekli simülasyonlar sayesinde karmaşık süreçlerin daha hızlı ve detaylı bir şekilde modellenmesi mümkün hale gelmiştir.

Bilimsel görselleştirmenin modern çağında estetik ve etkileşim önemli bir yer tutmaktadır. Yapay zekâ destekli görselleştirme teknikleri, verilerin yalnızca bilgilendirici olmasını değil, aynı zamanda görsel açıdan etkileyici hale gelmesini sağlamaktadır. Stil transferi gibi teknolojiler, bilimsel verilerin sanatla buluşmasını mümkün kılmakta ve bu sayede bilimsel bilgiye olan ilginin artmasına katkı sağlamaktadır. Etkileşimli görselleştirme platformları ise kullanıcıların verilerle daha derin bir bağ kurmasını sağlamaktadır. Yapay zekânın bilimsel araştırmalardaki bu dönüştürücü rolü, bilimin yalnızca uzmanlara hitap eden bir alan olmaktan çıkıp, toplumun her kesimine ulaşan bir öğrenme ve keşif aracı haline gelmesini sağlamaktadır.

Simülasyonlar, bilim insanları için uzun yıllardır önemli bir araç olmuştur. 20. yüzyılın ortalarından bu yana araştırmacılar, tasarımlarını test etmek, doğrulamak ve geliştirmek için simülasyonlardan faydalanmaktadır (Ansys, t.y.). Geleneksel simülasyon yazılımları, neyin işe yarayıp yaramadığını anlamak için milyonlarca hesaplama yaparak sentetik veriler üretmiştir. Yapay zekâ ile zenginleştirilmiş simülasyonlar, sonuç alma süresini 10 ila 100 kat azaltarak araştırmacıların verimliliğini artırmıştır. Bu dönüşüm, yalnızca bilimsel süreçlerin hızını artırmakla kalmamış, aynı zamanda daha önce tahmin edilmesi zor olan olayları modellemeyi de mümkün kılmıştır. Krenn ve diğerleri (2022), yapay zekâyı her kimyasal reaksiyonun ürünlerini veya her proteinin işlevini tahmin eden bir kâhine benzeterek bunun bilim ve teknolojiyi kökünden değiştirebileceğini savunmuşlardır. Örneğin, alt atomik parçacıkların etkileşimleri veya süpernova patlaması gibi karmaşık fenomenler, geleneksel süper bilgisayarlarla bile saatler süren hesaplamalar gerektirirken, yapay zekâ destekli yöntemler sayesinde bu simülasyonlar milyarlarca kat hızlanmıştır. Bu yöntemler, fiziksel kuvvetlerin atomlar, bulutlar ve galaksiler üzerindeki etkilerini hesaplamak yerine, doğanın karmaşık işleyişini kısa yollarla yeniden üretmektedir. (Hutson, 2020). Stanford ve Oxford Üniversitelerindeki bilim insanları geliştirdikleri “derin sinir mimarisi araması” yöntemi sayesinde, astrofizik, iklim

bilimi, yüksek enerji yoğunluklu fizik, füzyon enerjisi gibi 10 farklı bilimsel vakada simülasyonları hızlandırmış ve %99,9 gibi şaşırtıcı bir doğruluk seviyesi elde etmişlerdir (Alarcon, 2020). Kasim (2022), bu gelişmenin pahalı simülasyonları içeren araştırmaları hızlandıracağını, daha kapsamlı parametre araştırmalarına olanak tanıyacağını ve daha önce mümkün olmayan yeni hesaplamalı keşiflere kapı aralayacağını öngörmektedir.

Bu hızlı hesaplama yeteneği, yalnızca simülasyon süreçlerini iyileştirmekle kalmamış, aynı zamanda astronomi gibi alanlarda artan gözlemsel veri miktarını etkin bir şekilde işlemenin de önünü açmıştır. Teleskoplar ve uydular daha güçlü hale geldikçe, evrene dair gözlemsel veriler hem daha ayrıntılı hem de daha kapsamlı bir hale gelmektedir. Veri miktarındaki bu artış, bilim insanlarını çözünürlüğü artırmak mı, yoksa gözlem alanını genişletmek mi gerektiği konusunda önemli bir ikileme karşı karşıya bırakmıştır. Bu sorunu aşabilmek için ise yapay zekâ teknikleri devreye girmiştir (Li vd., 2021).

Ravanbakhsh ve diğerlerinin (2017), evrenin gerçekçi simülasyonlarını oluşturmak ve astrofiziksel teorileri test etmek için kullanılan güçlü bir araç olduğunu belirttiği üretken çekişmeli ağlar (GAN’lar), yıldız oluşumunun dinamikleri ve galaksilerin zaman içindeki evrimi gibi karmaşık süreçleri, fizik yasalarını gelişmiş makine öğrenimi teknikleriyle birleştirerek modellemekte büyük başarı göstermiştir. Bu simülasyonlar; teorileri geliştirmek, hipotezleri doğrulamak ve geleneksel laboratuvar ortamlarında tekrarlanması mümkün olmayan senaryoları keşfetmek için eşsiz bir fırsat sunmaktadır. Barros’un (2023) deyişiyle, yapay zekânın astrofizik simülasyonları modellemede oyunun kurallarını değiştirdiği kanıtlanmıştır.

Flatiron Enstitüsü’nün Hesaplamalı Astrofizik Merkezi’nde astrofizikçiler, ilk kez yapay zekâ tekniklerini kullanarak evrenin karmaşık üç boyutlu simülasyonlarını oluşturmayı başarmışlardır. Bu simülasyonlar, son derece hızlı, doğru ve sağlam sonuçlar üretmiş, ancak bu sürecin detaylarına hâkim olan bilim insanları, yapay zekânın bunu nasıl başardığını açıklamakta zorlanmışlardır. Carnegie Mellon Üniversitesi’nden grup lideri Shirley Ho, bu durumu, kedi ve köpek fotoğraflarıyla eğitilen bir görüntü tanıma yazılımının, hiç görmediği halde filleri tanıyabilmesi gibi

bir örnekle açıklamış ve bunun bilimsel açıdan çözülmesi gereken büyük bir gizem olduğunu vurgulamıştır (He vd., 2019).

Yapay zekânın bu alandaki başarılarından biri de UC Riverside’da fizik ve astronomi alanında çalışan bir ekip tarafından ortaya konulmuştur. Simeon Bird ve ekibi, geleneksel yöntemlerin binde biri kadar bir sürede yüksek çözünürlüklü evren simülasyonları oluşturmayı başarmışlardır. Araştırmacılar, düşük çözünürlüklü modelleri yüksek çözünürlüklü versiyonların ayrıntılarıyla eşleştiren bir makine öğrenimi algoritması geliştirmiş ve bu algoritma, sinir ağları sayesinde düşük çözünürlüklü modellerden 512 kat daha fazla parçacık içeren süper çözünürlüklü simülasyonlar üretmeyi mümkün kılarak daha önce hayal bile edilemeyen bir hız ve doğruluk seviyesine ulaşılmasını sağlamıştır (Pittalwala, 2021).

Yıldızların ve galaksilerin ayrıntılı ve büyük ölçekli simülasyon modelleri üzerinde çalışan Profesör Rupert Croft, astrofizikçilerin yapay zekâ olmadan evrenin böylesine ayrıntılı bir simülasyonunu oluşturabilmek için devasa, gezegen boyutunda bir süper bilgisayara ihtiyaç duyacaklarını belirtmektedir. Ancak yapay zekâ, bu süreci binlerce, hatta milyonlarca kat hızlandırarak bilim insanlarının evreni, bilgisayar tabanlı modelleme şeklini kökten değiştirmiştir. Bu devrim, galaksilerin, yıldızların ve karanlık maddenin dinamiklerini anlamada büyük bir ilerleme sağlamaktadır (Li vd., 2021).

Event Horizon Teleskobu ekibi 2019 yılında M-87 galaksisindeki kara deliğin ilk görüntüsünü elde etmeyi başarmış, aynı veri seti makine öğrenimi ile önemli bir iyileştirmeden geçerek kara deliğin çevresindeki ışığın daha net ve ayrıntılı bir şekilde görüntülenmesini sağlamıştır. Ancak bu iyileştirme, bilim insanlarına yeni bir soru yöneltmiştir: Eğer bu kadar etkileyici bir görüntü 2019’da elde edilebilmişse, neden makine öğrenimine ihtiyaç duyulmuştur? Cevap, yapay zekânın yalnızca veriyi iyileştirmekle kalmayıp, eksik olan kısımları bilimsel tahminlerle doldurarak daha bütünsel bir anlayış sağlamasıdır (Medeiros vd., 2023).

Modelleme, simülasyon oluşturma ya da eksik verileri tamamlama kadar gürültü giderme işlemi de verinin doğru anlaşılmasında önemlidir. Japon gökbilimciler, astronomik verilerdeki gürültüyü gidermek ve daha net

sonuçlar elde etmek amacıyla yenilikçi bir yapay zekâ tekniği geliştirmişlerdir. Geliştirilen yapay zekâ aracı, başlangıçta süper bilgisayar simülasyonları tarafından üretilen büyük sahte veri setleri üzerinde kapsamlı bir şekilde eğitilerek test edilmiş, ardından Japonya’nın Subaru Teleskopu’ndan elde edilen gerçek verilere uygulanmıştır. Bu yöntemle analiz edilen kütle dağılımının, günümüzde kabul gören evren modelleriyle tam bir uyum içinde olduğu tespit edilmiştir. Araştırmayı yöneten Shirasaki (2021), bu başarıyı şu sözlerle özetlemektedir: "Bu araştırma, farklı yöntemlerin bir araya getirilmesinin gücünü ortaya koyuyor. Büyük veri çağında, disiplinlerarası elimizdeki tüm araçları kullanarak verileri anlamlandırmalıyız. Bu başarıldığında, yepyeni araştırma alanlarının önü açılacaktır."

Günümüzde görselleştirme teknikleri, geleneksel statik grafiklerin ötesine geçerek interaktif, kişiselleştirilebilir ve çok boyutlu hale gelmiştir. Yapay zekâ (YZ) destekli sistemler, izleyicilere bilimsel verilerle doğrudan etkileşim kurma imkânı sunarak veri ile kullanıcı arasındaki ilişkiyi güçlendirmektedir. Bilimsel görselleştirmenin bu modern çağında, yalnızca bilgilendirici olmakla kalmayan, aynı zamanda estetik açıdan etkileyici olan görselleştirmeler, bilginin daha geniş bir kitleye ulaşmasını sağlamaktadır. Örneğin, yapay zekâ destekli stil transferi algoritmaları, bilimsel veriyi sanatla buluşturarak izleyicilerin duygusal bir bağ kurmasına yardımcı olmaktadır. Bu durum, bilimsel bilgiyi yalnızca bir veri yığını olmaktan çıkarıp, izleyici için anlamlı bir deneyime dönüştürmektedir.

Ancak, yapay zekâ ile üretilen bu görselleştirmeler, insan denetimine olan ihtiyacı ortadan kaldırmamaktadır. Üretken yapay zekâ (GenAI) araçlarının bilimsel doğruluğu ve uygunluğu konusunda sıkı bir kontrol mekanizması gereklidir. Araştırmacıların, YZ çıktılarının gerçek verilerle tutarlılığını doğrulaması kritik bir rol oynamaktadır. Uzman analizleri ve disiplinlerarası iş birlikleri, yapay zekânın bilimsel araştırmalarda daha etkili kullanılmasını sağlamak açısından büyük önem taşımaktadır. Groenewald ve diğerleri (2024), özellikle astronomi ve bilgisayar bilimi gibi farklı alanlar arasındaki sinerjinin, YZ’nin potansiyelini genişletirken yeni araştırma yolları ve teknolojik ilerlemeler için sağlam bir zemin hazırladığına vurgu yapmışlardır.

Üretken çekışmeli ağlar (GAN'lar) gibi algoritmalar, sağlık hizmetlerinden sanata ve bilimsel araştırmalara kadar geniş bir yelpazede önemli ilerlemeleri mümkün kılmaktadır. Bu teknolojiler, yalnızca mevcut yöntemleri iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda dijital dünyayla etkileşim kurma ve onu anlama biçimimizi yeniden şekillendiren yeni yollar açmaktadır (Kim vd., 2024). YZ'nin bilimsel araştırmalardaki etkisi yalnızca bir araç olmanın ötesine geçerek, bilimsel keşiflerin sınırlarını genişleten güçlü bir unsur olarak kendini göstermektedir. Bu teknolojilerin sorumlu ve etkili bir şekilde kullanılması, ancak araştırmacılara sağlanan kapsamlı eğitim ve disiplinlerarası iş birlikleriyle mümkün olabilir. Böylece YZ, bilimsel çalışmaların daha derin ve anlamlı sonuçlar üretmesine katkı sağlayan bir yol arkadaşı haline gelecektir.

Estetik ve Gerçeklik Arasındaki Denge

20. yüzyılın ilk yarısında, sanatçılar bilimsel fikirlerden ilham alsalar da bilimsel araçlardan pek yararlanmamışlardır. Ancak 20. yüzyılın ikinci yarısıyla birlikte katot ışın tüpleri ve bilgisayarlar gibi elektronik ekipmanlar, bilim insanlarına sanat yaratmada yeni olanaklar sunmuştur. Bu değişim, sanat ile bilimin ortak bir zemin bulmasında önemli bir rol oynamıştır. Bu dönüşümle birlikte sanat ve bilim arasındaki bağlantı, dijital medya ve modern görüntüleme teknikleri aracılığıyla yeniden güçlenmiştir. Koli'n'e (2013) göre, sanat ve bilim aynı yaklaşımı paylaşmaz, ancak birbirlerini tamamlayarak zenginleştirici bir deneyim sunabilir. Sanat, bilimsel keşiflerden ilham alarak, titiz protokollerle test edilmesi gerekmeyen yorumlar ve bağlantılar sunmaktadır. Bilim, nesnelliğiyle gerçekliği açıklamaya çalışırken, sanat bu gerçekliğe insan deneyimini ve duygularını ekler. Bir Nature anketinde katılımcılar, sanatçıların bilim insanlarına yalnızca iletişim ihtiyaçlarında değil, aynı zamanda daha geniş bir kitleyle duygusal bağ kurmada da yardımcı olduğunu belirtmiştir (Gould, 2023). Ancak, bu ilişkinin gerçekten değerli bir iş birliğine dönüşmesi için çift yönlü bir ortaklık gereklidir. Bu noktada Lucy Smith, aynı anda hem sanatçı hem de bilim insanı olunması gerektiğini vurgulamıştır (Gould, 2023). Bu anlayış, iki disiplinin bir araya gelerek daha zengin bir deneyim yaratabileceğini göstermektedir.

Bir kuantum fizikçisi, fiziği zarafeti ve simetrisi için sevdiğini ifade ederken, sanatçı iş birlikçiler ise genellikle popüler bilim iletişiminde göz ardı edilen bilimsel sürecin karmaşık gerçekliklerine daha fazla ilgi göstermektedir (Nature, 2021). Bu ilgi, sanatsal ve bilimsel süreçlerin birbirini dönüştürme motivasyonunun temelini desteklemektedir. Sanatın bilimi besleyen bir güç olduğu gerçeği, giderek daha fazla kabul görmektedir (Root-Bernstein, 2000). Bu ilişki, özellikle üretken sanat, etkileşimli sanat ve hesaplamalı tasarım gibi yeni disiplinlerin ortaya çıkışıyla daha da belirgin hale gelmiştir. Bu disiplinler, bilimsel veriyi yalnızca bir araştırma aracı olarak değil, aynı zamanda sanatın kendisi olarak da görme anlayışını güçlendirmiştir. Daston ve Galison'a (2007) göre, sanal bilimsel imge artık sanatla rekabet eden bir araç değil; doğrudan sanatın bir formu olarak konumlanmaktadır. Bu dönüşüm, bilimsel görsellerin estetik değerinin vurgulanmasına ve bilimin görsel ifadeler aracılığıyla daha geniş kitlelere ulaşmasına olanak tanımaktadır. 21. yüzyılın ilk on yılında dijital görüntüleme teknolojilerindeki büyüme, bilimsel görselleştirmenin etkisini dramatik bir şekilde artırmıştır. Üretilen olağanüstü görseller, "Bilim sanattan daha güzel midir?" gibi sorular gündeme getirmeye başlamıştır (Jones, 2012). Bu tartışma, bilim ve sanat arasındaki estetik sınırların giderek daha bulanık hale geldiğini göstermektedir.

Bilimsel görselleştirme, estetik ile gerçeklik arasında karmaşık bir denge kurmayı gerektirir; bu denge hem verinin bilimsel doğruluğunu korumak hem de izleyici üzerinde estetik bir etki yaratmak için kritik bir öneme sahiptir. Bu dengenin teorik altyapısı, algı teorisi (Gibson, 1979), Gestalt ilkeleri ve bilişsel psikoloji (Kahneman, 2011) gibi disiplinlerce desteklenmelidir. Örneğin, karmaşık bilimsel modellerin sadeleştirilmesi sırasında, verilerin anlaşılabilirliğini artırmak için görsel estetik unsurlar kullanılır. Ancak bu süreçte, bilimsel gerçeklikten sapma riskine karşı dikkatli olunması gerekmektedir. Estetik, izleyiciyle güçlü bir bağ kurabilir; ancak bu bağın bilimin titizliğini gölgede bırakmaması kritik bir gerekliliktir. Yapay zekâ araçları, bilimin estetik boyutuyla birleşirken bilimsel mükemmellik standartlarına bağlı kalabilen disiplinlerarası bir yaklaşımı benimsemelidir.

Yapay Zekâ İle Geliştirilmiş Görsel Bilim

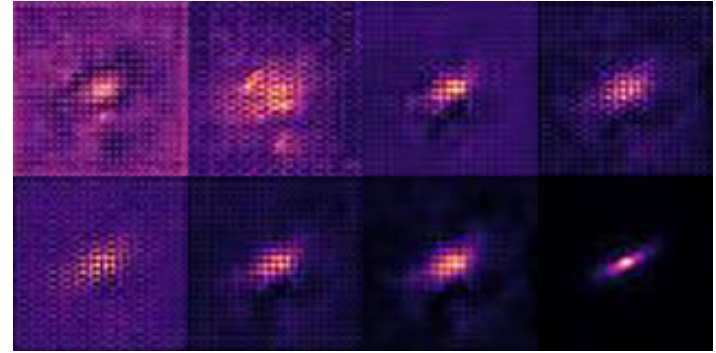
Günümüzde bilimsel görüntülerin ve görselleştirmelerin hâlâ düşük teknolojiyle üretilmesi, bilimsel araştırmaların karşılaştığı temel zorluklardan biri olmaya devam etmektedir. Yetersiz çözünürlük, düşük kontrast, gürültü ve renk sorunları gibi faktörler, görüntülerin netliğini ve kullanılabilirliğini azaltmaktadır. Bu tür sorunlar, önemli detayların gizlenmesine ve analizlerin doğruluğunun düşmesine neden olmaktadır. Ancak, üretken yapay zekâ modelleri bu sorunlara etkili çözümler sunmaktadır. Bu modeller, görüntülerin iyileştirilmesi, rötuşlanması ve gürültüsünün giderilmesi için gelişmiş algoritmalar kullanmaktadır. YZ, özellikle astronomik görüntülerin işlenmesinde ve iyileştirilmesinde de önemli bir rol oynar. Ham astronomik görüntüler genellikle eksik pikseller, bulanıklık, düşük çözünürlük, gürültü ve atmosferik etkiler nedeniyle analiz edilmesi zor bir yapıya sahiptir. YZ, bu sorunlara çözüm sunarak daha net, detaylı ve bilimsel olarak anlamlı görüntüler elde edilmesine yardımcı olmaktadır. Bu çalışma kapsamında astronomik görsellerin hem bilimsel araştırmalar hem de bilim iletişimi için işlenmesinde yapay zekânın katkılarını yer verilmiştir.

Görüntü Yumuşatma /Gürültü Giderme

Gürültüyü ve ince detayları azaltmak için düşük geçiş filtreleri (low-pass filters) kullanılması görüntü yumuşatma işleminin bir parçasıdır. Her pikselin değeri, komşu piksellerin ortalamasıyla değiştirilerek daha yumuşak bir görüntü elde edilir. Bu yöntem, özellikle astronomik görüntülerdeki gürültünün azaltılması için oldukça etkilidir. Cambridge Üniversitesi'nden Edward Higson ve ekibi (2019), bu alanda makine öğrenimi algoritmalarını kullanarak gürültülü astronomik görüntüleri net bir şekilde yeniden oluşturmayı başarmışlardır.

Astronomik görüntüler, doğal olarak gürültü içerir ve bu durum önemli detayların gizlenmesine neden olabilir. Sensör hataları veya çevresel koşullardan kaynaklanan bu gürültüyü gidermek, bilimsel araştırmaların doğruluğunu artırmak için kritik bir adımdır. Yapay zekâ, özellikle gürültü giderme otokodlayıcıları ve üretken çekişmeli ağlar (GAN'lar) gibi algoritmalarla bu soruna yenilikçi çözümler sunmaktadır. GAN'lar, iki sinir ağından oluşan bir yapıya sahiptir: bir üreteç ve bir ayırıcı. Üreteç, düşük kaliteli

girdilerden yüksek kaliteli görüntüler üretirken, ayırıcı bu görüntülerin gerçek mi yoksa sentetik mi olduğunu ayırt etmeye çalışır. Bu iki ağ arasındaki rekabet, zamanla daha gerçekçi ve yüksek kaliteli görüntülerin üretilmesini sağlamaktadır (Wainwright, 2023). Bulanıklaştırmanın kaldırıldığı bir başka örnekte de görüntüde Dünya atmosferinin neden olduğu bulanıklığı gidermek için YZ tabanlı bir yazılım, görüntüyü sekiz katmanlı bir ağdan geçirmiştir. (Resim 1). Her bir katman, görüntüyü adım adım işler ve daha net hale getirir. İlk görüntü, sol üst köşede bulanık ve detaydan yoksunken, nihai sonuç sağ altta belirgin detaylara ve netliğe sahip bir görsel olarak karşımıza çıkar. Northwestern Üniversitesi'nden Emma Alexander'ın bu süreçle ilgili görselleri, YZ'nin astronomik görsellerde nasıl çığır açıcı bir rol oynadığını açıkça göstermektedir.



Resim 1. Astronomik görsellerde YZ ile bulanıklığın giderilmesi için 8 katmanlı işlem (Sutter, 2023).

Görüntü yumuşatma ve netleştirme süreçleri, bir görüntünün kalitesini artırmak için yan yana çalışan tekniklerdir. Yumuşatma, komşu piksellerle karşılaştırmalar yaparak gürültüyü azaltırken, netleştirme kontrastı artırarak görüntüyü daha odaklanmış ve detaylı hale getirir. Özellikle teleskoplar tarafından çekilen ham görüntüler, ince ayrıntıları ve kozmik fenomenleri daha belirgin hale getirmek için bu tekniklerle işlenmektedir (Team Emb, 2023).

Görüntü Enterpolasyonu

Bu teknik yapay zekânın astronomik görüntülerde eksik pikselleri doldurmasını ve daha eksiksiz bir görüntü oluşturmasını sağlar. Bu teknik, küçük teleskoplarla çekilen ya da atmosferik türbülans nedeniyle bozulmuş görüntülerde etkili bir şekilde kullanılabilir. YZ, eksik

verileri tahmin ederek bağlamla uyumlu şekilde tamamlar ve gözlemleri daha bütünlüklü hale getirir. Astrofizik ve kozmoloji alanında, uzayı simüle etmek araştırmacılar için uzun süredir iki temel zorlukla karşı karşıya kalınan bir süreç olmuştur: Simülasyonlar ya yüksek çözünürlüklü küçük bir bölgeye odaklanır ya da düşük çözünürlük ile evrenin büyük bir kısmını kapsamaktadır.

Geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında, yapay zekâ tabanlı yenilikçi modeller hem zamandan hem de hesaplama kaynaklarından büyük ölçüde tasarruf sağlamaktadır. Bu dikkate değer başarının ardındaki anahtar teknoloji, üretken çekişmeli ağlar (GAN) ve derin öğrenme algoritmaları, düşük çözünürlüklü simülasyonlardan yüksek çözünürlüklü temsiller oluşturmak için eğitilmiştir. Araştırmacılar, yalnızca küçük uzay alanlarından elde edilen verileri kullanarak sinir ağlarını eğitmiş ve model, geniş ölçekli simülasyonlarda ortaya çıkan yapıları dahi doğru bir şekilde yeniden üretebilmiştir. Yeni yöntemin sağladığı hız ve doğruluk, bilim insanlarına galaksi oluşumu, karanlık madde ve karanlık enerji gibi evrenin temel gizemlerini daha derinlemesine inceleme fırsatı sunmaktadır. Carnegie Mellon Üniversitesi'nden Yueying Ni bu yaklaşımı, “küçük ölçekli galaksi oluşumunun fiziğini büyük kozmolojik hacimlerde modelleyerek iki temel gereksinimi aynı anda karşılamak için güçlü ve umut verici bir araç” olarak nitelendirmiş, Carnegie Mellon Üniversitesi Fizik Bölüm Başkanı Scott Dodelson ise yapay zekânın evreni anlamak ve yeni fiziği keşfetmek için kilit bir araç olduğunu belirtmiştir (Li vd., 2021).

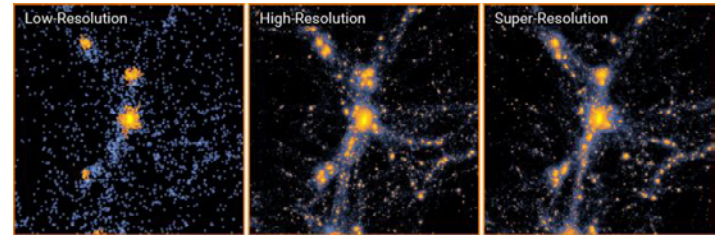
Görüntü İyileştirme

Bu yöntem görüntülerin görsel kalitesini artırmaya odaklanan ve bilimsel araştırmalardan günlük uygulamalara kadar geniş bir alanda kullanılan önemli bir teknolojidir (Pandey vd., 2024). Bu süreç, görüntülerin detaylarını, kontrastını, netliğini ve genel estetiğini artırmayı hedefler. Aynı zamanda, bu iyileştirme teknikleri görüntülerin algısal kalitesini artırırken, kusurları düzeltmek ve ince detayları korumak gibi kritik işlevlere sahiptir. Detay koruma teknikleri, aşırı düzleştirmeyi önlerken ince dokuların ve ayrıntıların görünürlüğünü artırır. Bu yöntemler, yüksek dinamik aralık (HDR) görüntüleme gibi teknolojilerle birleşerek görüntülerin daha dengeli

bir pozlamaya sahip olmasını sağlar (Pandey vd., 2024). Yapay zekâ algoritmaları, görüntü bulanıklığına neden olan noktaların yayılma fonksiyonlarını (PSF) öğrenir ve bu bilgiyi görüntü netliğini artırmak için kullanır. Derin öğrenmeye dayalı evrimsel sinir ağları, bulanık ve keskin görüntüler arasındaki karmaşık doğrusal olmayan ilişkiyi modelleyerek yüksek kaliteli sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır (Wainwright, 2023).

Son yıllarda, giderek daha fazla gökbilimci bu zorlu işlemleri kolaylaştırmak için yapay zekâ araçlarına yönelmiştir. YZ, astronomik görüntülerin karmaşıklığını azaltarak temiz ve net görseller üretmekte devrim niteliğinde bir rol oynamaktadır. Örneğin, 2019 yılında yayımlanan Messier 87 (M87) galaksisinin merkezindeki süper kütleli kara deliğin ikonik görüntüsü, Nisan 2023'te makine öğrenimi tabanlı bir iyileştirme sürecine tabi tutulmuştur (Sutter, 2023). Bu düzeltme sayesinde, kara deliğin yapısı çok daha net bir şekilde görselleştirilmiştir.

Ulusal Bilimler Akademisi'nin dergisi PNAS'ta yayımlanan projede derin öğrenmeyi kullanan araştırmacılar, düşük çözünürlüklü modeli süper çözünürlüklü modele yükseltebilmişlerdir (Resim 2). Böylece çok daha az hesaplama kaynağı kullanırken yüzlerce NVIDIA RTX GPU sistemlerinin kullanıldığı geleneksel bir yüksek çözünürlüklü modelle aynı ayrıntıları yakalayabilmişlerdir (Li vd., 2021).



Resim 2. (Solda) Düşük çözünürlüklü simülasyon modeli. (Ortada) Yüksek çözünürlüklü simülasyon modeli. (Sağda) Süper çözünürlüklü simülasyon modeli (Li vd., 2021).

Renkli görüntü iyileştirme ise bir görüntünün görsel kalitesini artırmayı hedefler ve renk dağılımını optimize ederek detayların daha belirgin hale gelmesini sağlar. Bu teknikler, renkli görüntüler üzerinde çalışarak kontrastı artırır, parlaklık seviyelerini dengeler ve genel görsel deneyimi geliştirir. Renkler, veri görselleştirmenin en güçlü araçlarından biridir. Yapay zekâ, veri türlerine uygun renk

paletleri oluşturarak farklı veri kümelerini ayırt edebilir ve anlamlı ilişkiler kurabilir. Özellikle büyük veri setlerinde benzer veriler aynı tonlarda gösterilirken önemli farklar vurgulanır. Yapay zekâ, renk körlüğü gibi erişilebilirlik sorunlarını dikkate alarak, herkes için daha kapsayıcı tasarımlar oluşturabilir. Yaygın kullanılan renkli görüntü iyileştirme tekniklerinden Histogram eşitleme, görüntüdeki yoğunluk değerlerini yeniden dağıtarak kontrastı artıran bir tekniktir. Bu yöntem, yoğunluk değerlerinin geniş bir alana yayılmasını sağlar ve özellikle düşük kontrastlı görüntülerde önemli bir iyileştirme sunar. Görsellerin daha net bir şekilde anlaşılmasını sağlamak için sıkça tercih edilir. Kontrast germe, görüntünün yoğunluk değerlerinin aralığını ayarlayarak kontrastı artırır. Piksel değerlerini yeni bir aralığa eşleyerek görüntüdeki detayların daha belirgin hale gelmesini sağlar. Bu teknik, özellikle karanlık ya da parlak alanların daha iyi görünmesi için kullanılır. Gamma düzeltme, bir görüntünün parlaklık ve kontrastını iyileştirir. Piksel değerleri üzerinde yapılan bu dönüşüm, görüntüdeki detayların daha net algılanmasını sağlarken aynı zamanda görsel estetiği de artırır. Bu yöntem hem bilimsel görselleştirmelerde hem de günlük görüntü iyileştirme işlemlerinde sıklıkla uygulanır (Pandey vd., 2024).

Görsel hiyerarşi, verinin anlaşılabilirliğini artırmada kritik bir rol oynar. İzleyicinin gözünü önemli bilgilere yönlendirmek için renk, boyut, kontrast ve konum gibi araçlar kullanılır. Yapay zekâ, veri setlerinde önemli desenleri veya anormallikleri belirleyerek bunları görsel olarak vurgulayabilir. Örneğin, simülasyon sonuçlarında en yüksek yoğunluğa sahip alanlar, parlak renkler veya daha büyük şekillerle izleyicinin dikkatine sunulabilir.

Denge, karmaşık veri setlerini bile görsel olarak anlaşılır kılar. YZ, simülasyon verilerini düzenlerken görsel dengeyi koruyabilir ve simetrik düzenlemeler yapabilir. Örneğin, simülasyon sonuçlarının yerleşim düzeni, belirli bir estetik simetriyi takip edecek şekilde tasarlanabilir, böylece görselleştirme hem düzenli hem de çekici hale gelir.

Sadelik, karmaşık veri görselleştirmelerinde gereksiz görsel gürültüyü önler ve izleyicinin dikkatini önemli verilere odaklar. Yapay zekâ, veriyi analiz ederek yalnızca en kritik bilgiyi seçer ve gereksiz öğeleri çıkarır. Böylece görselleştirmeler daha odaklı ve anlaşılır hale gelir,

izleyicinin karmaşıklık içinde kaybolması önlenir.

Modern grafik donanımları, görsel açıdan etkileyici teknolojiler sunsa da -örneğin bilgisayar oyunlarında kullanılan görsel açıdan etkileyici yöntemler- bilimsel veri setlerine doğrudan uygulanamayabilir. Çünkü öncelikler farklıdır (Benger vd., 2012). Astrofiziksel veri setlerinde görsel iyileştirme yöntemlerinin de bilimsel önceliklere uygun olması gerekir. Bilimsel görselleştirme, estetik görseelliğin yanı sıra bir veri setinin tüm özelliklerini kapsamlı bir şekilde gösterebilmelidir. Yapay zekâ, bilimsel görselleştirmelerde grafik tasarımın temel prensiplerini uygulayarak hem estetik hem de işlevsellik açısından çığır açan imkanlar sunmaktadır.

Bilimsel Görselleştirme Tekniklerinin Karşılaştırılması

Üretken yapay zekâ, bilimsel alandaki dönüşümler için güçlü bir katalizör haline gelmiştir. Araştırma verileri ve yazıları üretme konusundaki yeteneğiyle tanınan bu teknoloji, şimdi bilimsel görselleştirme gibi henüz tam potansiyelini ortaya koymamış bir alana doğru genişlemektedir (Kim, vd., 2024). Bu yenilikçi yaklaşım, bilimsel bilginin sunumu ve anlaşılabilirliği konusunda dikkate değer bir konumdadır.

Bilimsel görselleştirme teknikleri bu çalışmada, geleneksel yöntemler ve yapay zekâ destekli yöntemler olmak üzere iki ana kategoride incelenmiştir. Geleneksel yöntemler, ölçüm cihazları ve görüntüleme sistemlerinden elde edilen verilerin bilgisayar destekli modelleme teknikleriyle görselleştirilmesini kapsamaktadır. Öte yandan, yapay zekâ destekli yöntemler, görünmeyen ayrıntıları ortaya çıkarmak için görüntü iyileştirme, gerçek zamanlı simülasyonlarla dinamik görselleştirme ve sürecin genel olarak hızlanması gibi yenilikçi özellikler sunmaktadır. Ancak, bu iki yaklaşım birbirini dışlayan yöntemler değil; aksine, birleştirildiğinde bilimsel görselleştirmenin etkisini artıracabilecek güçlü bir kombinasyon sunabilir (Card vd., 1999).

Bu çalışma, nitel araştırma yöntemlerinden karşılaştırmalı betimsel analiz modeliyle yürütülmüştür. Amaç, yapay zekâ destekli bilimsel görselleştirme araçlarının sunduğu görselleri, bilimsel doğruluk ve estetik bağlamda değerlendirmek ve bu araçların potansiyelini

disiplinlerarası bir bakış açısıyla tartışmaktır.

Araştırmada iki tür görsel veri kullanılmıştır. NASA, ESA ve benzeri bilimsel kuruluşların yayımladığı orijinal simülasyonlar ve uzay görselleri ile DALL-E, Runway, Adobe Firefly ve Google Gemini yapay zekâ araçlarına, bilimsel olayları betimleyen istemler (prompts) girilerek üretilmiş görseller bu araştırma verisi kapsamındadır.

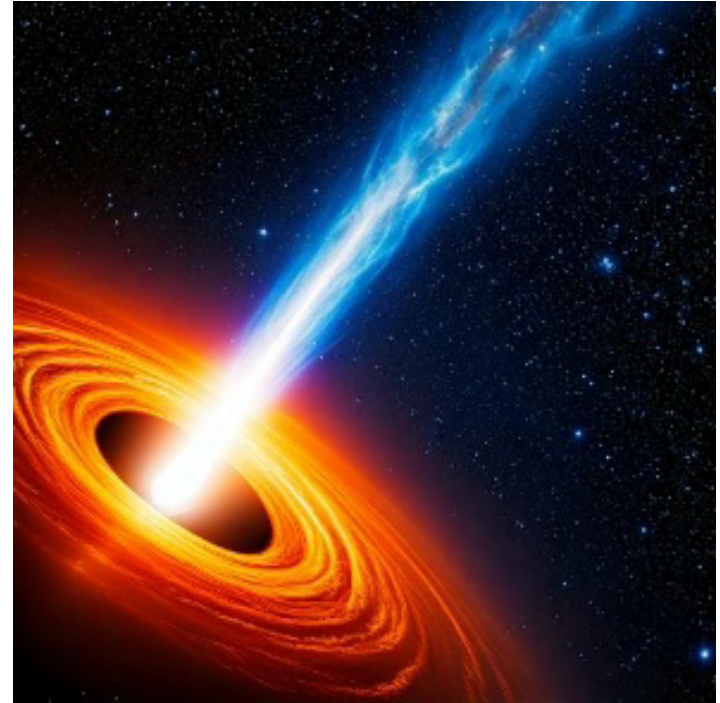
Her yapay zekâ aracı için aynı bilimsel senaryo temel alınarak görselleştirme yapılmıştır. Görseller, bilimsel anlatım ile uyum, görsel detay zenginliği, estetik kompozisyon, derinlik ve üç boyutluluk hissi gibi kategorilerde nitel bir içerik çözümlemesine tabi tutulmuştur. Değerlendirmelerde, orijinal referans görseller ile yapay zekâ çıktıları görsel okuma ve bağlamsal analiz teknikleriyle karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda her bir görselin kompozisyonu, ışık-gölge dengesi, renk kullanımı, bilimsel detaylara sadakati, görsel algı ve tasarım ilkelerine uygunluğu incelenmiştir. Görsellerin oluşturulmasına temel olan istemlerin (prompt) niteliği de çözümlemenin bir parçası olarak ele alınmış, istemin başarısının çıktıya etkisi tartışılmıştır.

Araştırmada ilk örnek olarak, bir kara deliğin bir yıldızı yutması sonucunda oluştuğu düşünülen yoğun X-ışını parlamaları ve kara deliğin etrafında biriken yığılma diskinin NASA tarafından paylaşılan bir simülasyon görseli (Resim 3) temel alınmıştır. Bu orijinal simülasyon görseline dayalı olarak, yukarıda belirtilen dört farklı yapay zekâ uygulaması kullanılarak yeni görselleştirmeler üretilmiş ve bu çıktılar orijinal veriyle karşılaştırılmıştır. Yapay zekâ uygulamaları, görselleştirmeleri istemler (prompt) aracılığıyla oluşturur. Bir görsel yapay zekâ modeline istem girmek, modele belirli bir görsel çıktı üretmesi için metin tabanlı talimat vermek anlamına gelmektedir (Sönmez, 2024). Kullanılan istemler (prompt), NASA'nın bu simülasyon görseli altında yer alan bilimsel açıklamalarından uyarlanarak geliştirilmiştir. Bu yöntemle, yapay zekâ destekli görselleştirme yaklaşımlarının bilimsel verilere dayalı hassasiyet ve görsel estetik düzeyleri değerlendirilmiştir.

İstem (prompt): “Bir yıldızı yutan bir kara delik parlak ve dönen bir birikim diski oluşturuyor. Bu diskten çıkan güçlü bir parçacık jeti, kara delikten fışkırarak uzaya doğru yayılıyor. Yoğun bir X-ışını parlaması gözlemleniyor.”



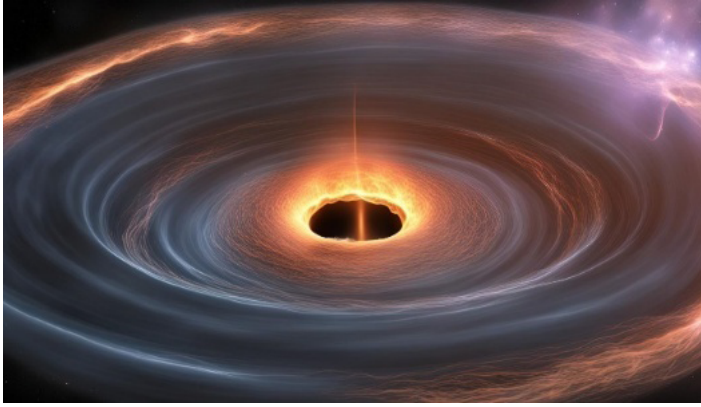
Resim 3. Bir kara deliğin bir yıldızı yutması sonucunda oluştuğu düşünülen yoğun X-ışını parlamaları ve kara deliğin etrafında biriken yığılma diskinin NASA tarafından paylaşılan bir simülasyon videosundan alınan görüntü (Nasa, 2011).



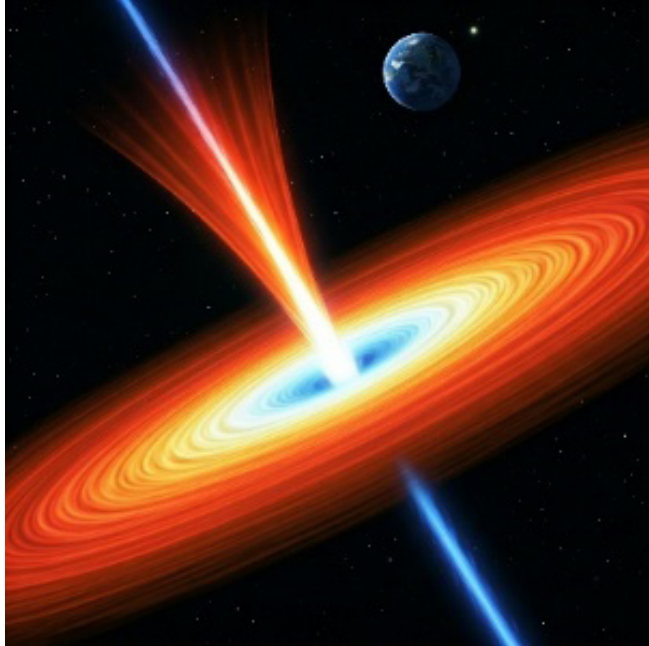
Resim 4. Adobe Firefly tarafından oluşturulan görselleştirme



Resim 5. DALL-E tarafından oluşturulan görselleştirme.



Resim 6. Runway tarafından oluşturulan görselleştirme



Resim 7. Gemini tarafından oluşturulan görselleştirme.

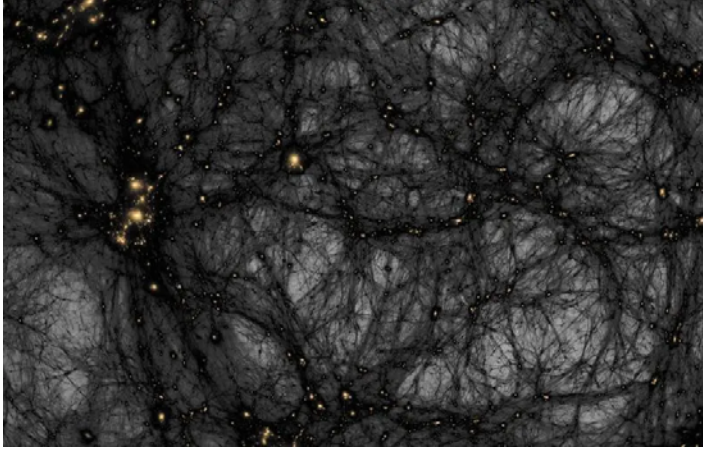
Farklı yapay zekâ uygulamalarının oluşturduğu görselleştirmeler karşılaştırıldığında, aynı istem girilmesine rağmen ortaya çıkan farklı betimlemeler dikkat çekici bir durum olarak öne çıkmaktadır. NASA'nın paylaştığı orijinal simülasyon görseline en yakın sonucu Adobe Firefly'nin (Resim 4) verdiği söylenebilir. Ancak bu, Firefly'nin referans görsel yükleme özelliği sayesinde mümkün olmuştur. Orijinal simülasyon görseli referans olarak yüklenerek, benzerlik çok daha başarılı bir şekilde sağlanmıştır. DALL-E tarafından oluşturulan görselde (Resim 5) diğerlerinden farklı olarak sinematik etkinin daha belirgin olduğu söylenebilir. Dönen birikim diskinin ve X-ışını parlamasının fiziksel özellikleri daha net bir şekilde yansıtılmıştır. İstemde "kara delik" ifadesinin kullanılması, görselin ortasında hacimsel bir kara delik temsili oluşmasına neden olmuştur. Ancak diğer uygulamaların görselleştirmelerinde bu detaya yer verilmemiştir. Runway'nin oluşturduğu görsel (Resim 6), dönen disk yapısının gerçekçiliği ile dikkat çekse de, orijinal simülasyon görselinde ve diğer yapay zekâ uygulamalarının çalışmalarında bulunan X-ışını parlamasının dinamizmi bu görselde daha az belirgindir. Gemini'nin ürettiği görsel (Resim 7), diğer uygulamalara kıyasla hem gerçekçilik hem de sinematik etki açısından daha zayıf kalmıştır. Diğer görselleştirmelerde hissedilen üç boyutlu derinlik, bu görselde daha iki boyutlu ve daha az detaylı bir anlatımla yerini almıştır.

Tablo 1. Yapay Zekâ Destekli Kara Delik Görsellerinin Karşılaştırmalı Betimsel Analizi

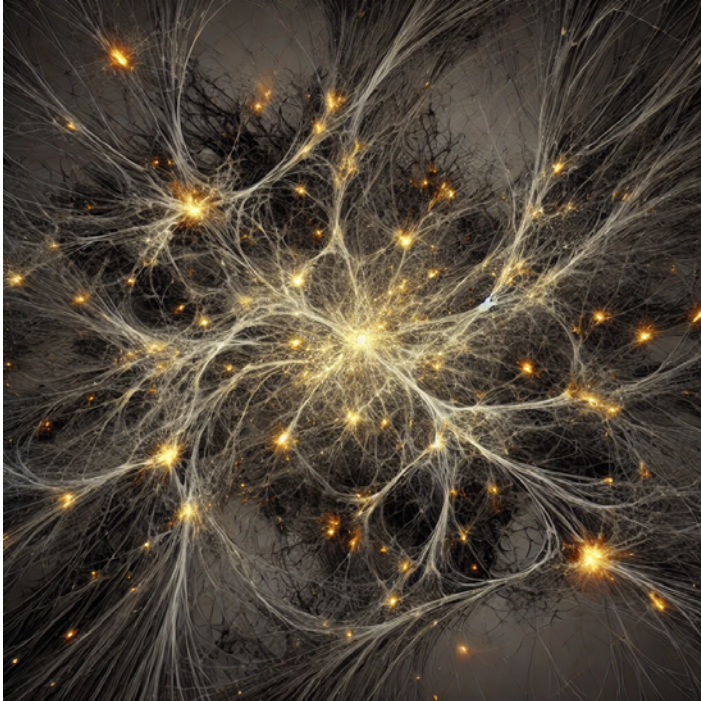
Görsel	Bilimsel Temsiliyet	Estetik Kompozisyon	Görsel Algı İlkeleri	Anlatısal Bütünlük
Adobe Firefly	Bilimsel gerçekliğe uygun ama renkler abartılı.	Çok canlı ve dikkat çekici, kontrast güçlü.	Odak belirgin.	Görsel hikâye bilimsel doğruluğa yakın.
DALL-E	Sanatsal yorum fazla, bilimsel yapıdan uzaklaşıyor.	Çarpıcı renk kullanımı ve ışık patlamaları dikkat çekici.	Fazla parlaklık, dikkat dağılıyor.	Duygusal anlatı öne çıkıyor.
Runway	Gözlemlerle ilişkili ama detaylar fazlasıyla stilize.	Dinamik renk kullanımı, hacim etkisi belirgin.	Merkez net ama çevre unsurlar çok yoğun.	Görsel hikâye belirsiz ama kozmik atmosfer var.
Gemini	Temsil kabiliyeti düşük, sembolik bir estetik yaklaşım var.	Görsel yoğunluk dramatik ama bilim dışı.	Odak dağılıyor ve arkaplanla uyumsuz.	Anlatı fantastik kurgu hissi yaratıyor.

Başka bir örnekte, NASA tarafından paylaşılan erken evrenden günümüze uzanan karanlık madde yapılarının oluşum simülasyonu görüntüsü (Resim 8) yapay zekâ uygulamaları tarafından tekrardan üretilmeye çalışmıştır.

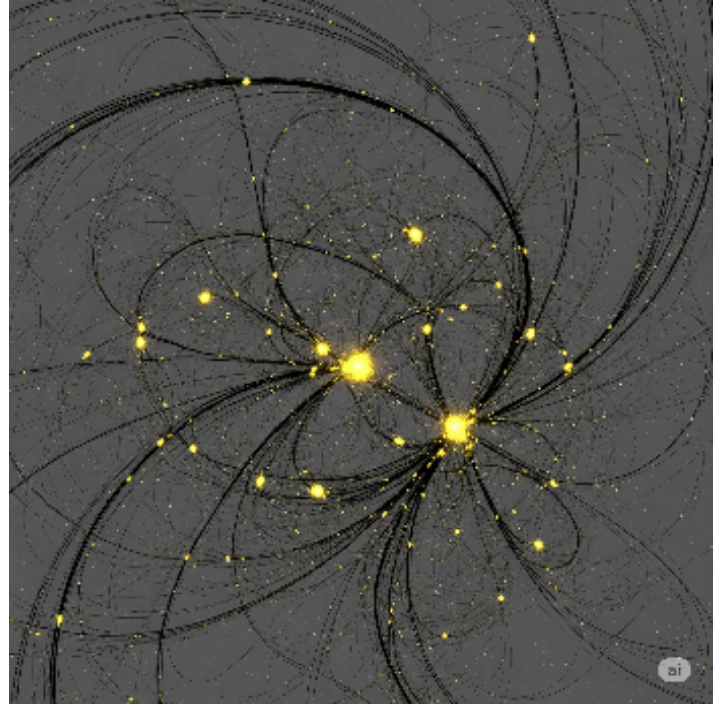
İstem (prompt): “Kozmik ağ şeklinde dağılan ince filamentler ve yoğun düğüm noktaları içeren karanlık madde simülasyonu.”



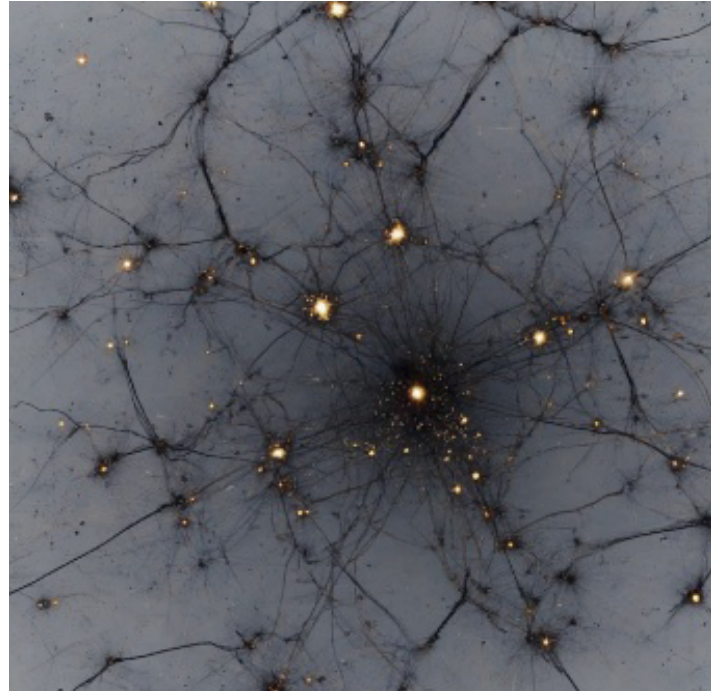
Resim 8. NASA tarafından paylaşılan erken evrenden günümüze karanlık madde yapılarının oluşum simülasyonu (Nasa, 2023).



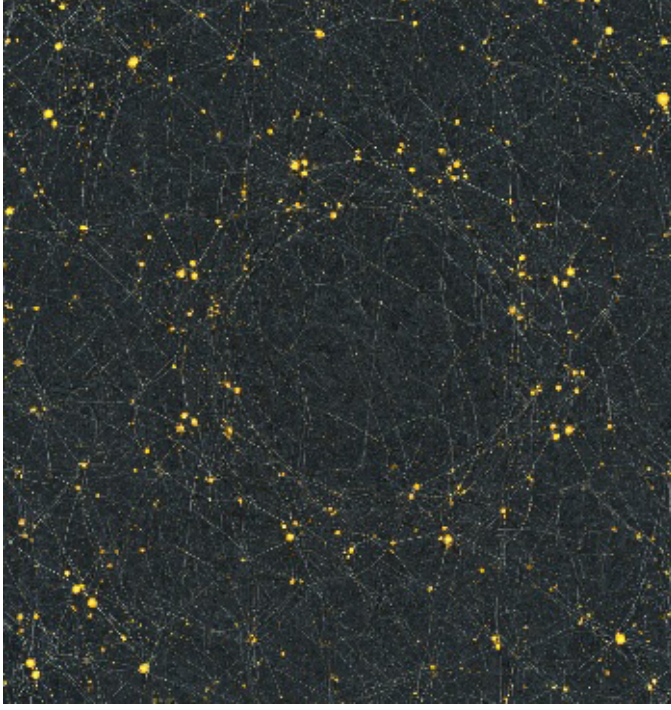
Resim 9. DALL-E tarafından oluşturulan görselleştirme



Resim 10. Gemini tarafından oluşturulan görselleştirme.



Resim 11. Runway tarafından oluşturulan görselleştirme



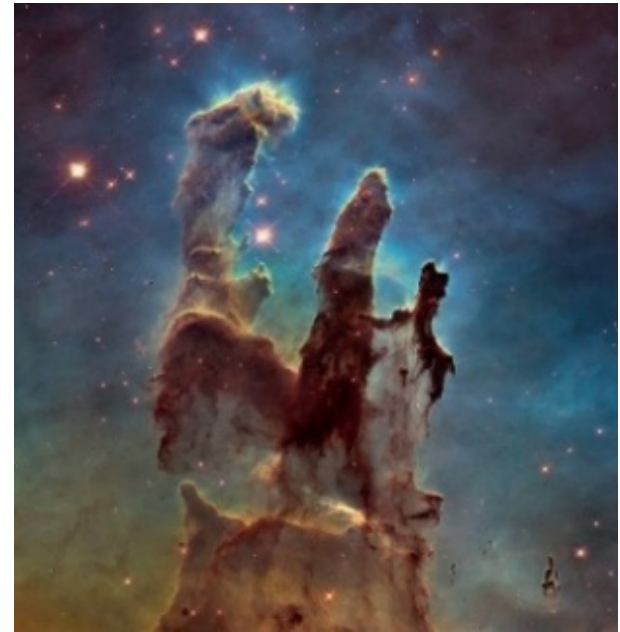
Resim 12. Adobe Firefly tarafından oluşturulan görselleştirme.

Yapay zekâ tarafından üretilen dört karanlık madde kozmik ağ görselinin, NASA referans görseli temelinde kıyaslandığında NASA'nın paylaştığı orijinal simülasyon görseline en yakın sonucu DALL·E (Resim 9) vermiştir. İnce filament yapıları, düğüm noktalarındaki sarımsı parlaklıklar ve arka plan kontrastı, orijinal görseldeki kozmik ağ dokusunu başarılı bir şekilde yansıtmakta ve 3 boyutlu derinlik hissini sağlamaktadır. Gemini tarafından oluşturulan görsel (Resim 10) ise yüksek kontrastlı ve yay biçimli filament yapısıyla dikkat çekmektedir. Ancak bu düzenlilik, kozmik ağın rastlantısal ve karmaşık doğasını yansıtmada yetersiz kalmış, görseli grafiksel bir sunum unsuruna dönüştürmüştür. Üç boyutlu derinlik algısı zayıf olarak nitelendirilebilir. Runway üretimi görsel (Resim 11), ince ve kırılğan filamentleri ile karanlık madde yapılarının rastlantısallığını yansıtmakta ve düğüm noktalarının parlaklığını abartmadan doğal bir görünüm sunmaktadır. Adobe Firefly tarafından üretilen görselde ise (Resim 12) çizgilerin geometrik düzeni ve yapay simetrisi, gerçek kozmik ağın düzensiz doğasından uzaklaşmakta ve görseli daha çok dekoratif bir unsur haline getirmektedir.

Tablo 2. Yaratılış Sütunları Görsellerinin Karşılaştırmalı Betimsel Analizi

Görsel	Bilimsel Temsiliyet	Estetik Kompozisyon	Görsel Algı İlkeleri	Anlatısal Bütünlük
Adobe Firefly	Grafik hissi var, bilimsel yapı zayıf.	Ortalı, simetrik kompozisyon. Renkler gerçek dışı.	Kontrastlık ve algı netliği düşük.	Anlatım yerine grafik dekor etkisi.
DALL·E	Filament yapısı güçlü, hafif abartılı parlaklık.	Kontrast ve renk dengesi güçlü, dikkat çekici.	Derinlik ve ışık-gölge dengesi başarılı	Kozmik ağ oluşumunu doğru yansıtabilir.
Runway	İnce filamentler doğal, düğümler dengeli.	Sade ve boyut etkisi düşük.	Filamentler rastlantısal. Kontrastlık uygun.	Düğümmler arası yapı süreç anlatımı için uygun.
Gemini	Yay çizgileri doğal yapıyı bozuyor, bilimsel temsil zayıf.	Simetrik çizgiler estetik düzen sağlıyor.	Dikkat dağıtmayan, akışkan çizgiler.	Soyut düzen, hikaye doğruluğu zayıf.

Bir diğer örnekte ise yine NASA tarafından paylaşılan ve “Yaratılış Sütunları” olarak isimlendirilen bulutsu görüntüsü (Resim 13) yapay zekâ uygulamaları ile yeniden oluşturulmaya çalışılmıştır. İstem olarak herhangi bir betimleme yapılmadan sadece “Yaratılış Sütunları” yazılarak görseller üretilmiştir.



Resim 13. Kartal Bulutsusu'nda yer alan “Yaratılış Sütunları” Bulutsusunun Hubble Uzay Teleskobu tarafından çekilmiş görüntüsü (Nasa, 2018).



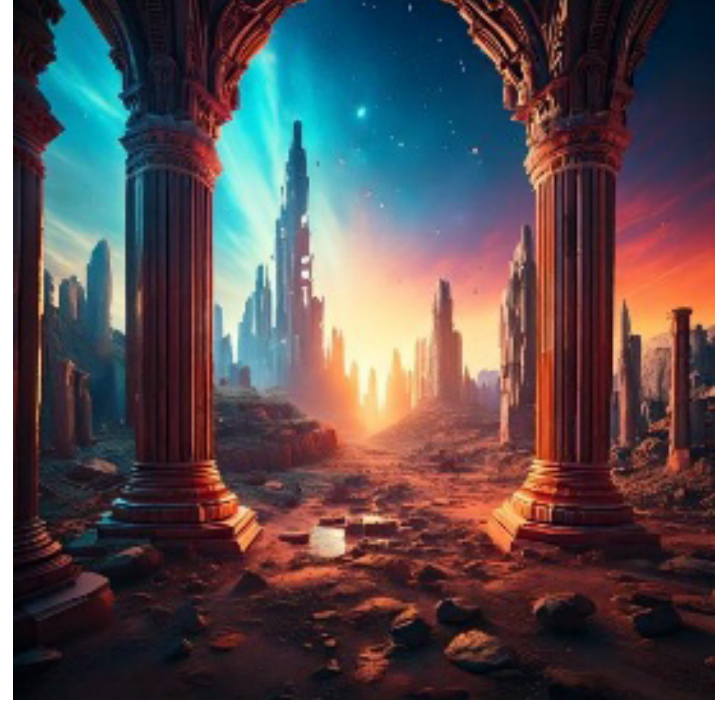
Resim 14. Gemini tarafından oluşturulan görselleştirme



Resim 15. Runway tarafından oluşturulan görselleştirme.



Resim 16. DALL-E tarafından oluşturulan görselleştirme.



Resim 17. Adobe Firefly tarafından oluşturulan görselleştirme.

“Yaratılış Sütunları” istemi, Adobe Firefly haricindeki diğer yapay zekâ uygulamaları tarafından astronomik bir kavram olarak algılanmış ve bu doğrultuda görselleştirmeler üretilmiştir. Adobe Firefly ise bu istemi kelime anlamıyla ele alarak, gerçek sütunlara atıfta bulunan bir tasarım oluşturmuştur (Resim 17). Bu durum, Firefly’ın görselleştirme yaklaşımının diğer yapay zekâ modellerinden belirgin bir şekilde ayrıldığını göstermektedir. Gemini ve DALL-E, bilimsel doğruluğu yüksek ve orijinal görüntüye yakın görselleştirmeler üreterek öne çıkmıştır. Gemini’nin görseli (Resim 14), boyutlandırma ve derinlik açısından tatmin edici bir sonuç ortaya koymuştur. DALL-E (Resim 16) ise özellikle arka plandaki yıldızların konumlarının orijinal NASA görüntüsü ile daha fazla örtüşmesi bakımından dikkat çekici bir başarı sergilemiştir. Runway’ın görseli (Resim 15) ise daha canlı renklere ve net hatlara sahip olmasına rağmen kozmik detayların gerçekçiliği konusunda zayıf kalmış ve orijinal görüntünün hassasiyetini tam anlamıyla yansıtamamıştır. Buna rağmen, estetik bir bakış açısıyla güçlü bir görselleştirme sunmuştur.

Tablo 3. Yaratılış Sütunları Görsellerinin Karşılaştırmalı Betimsel Analizi

Görsel	Bilimsel Temsiliyet	Estetik Kompozisyon	Görsel Algı İlkeleri	Anlatısal Bütünlük
Adobe Firefly	Yanılıcı yorumlama: Sütunları gerçek sütunlar olarak görselleştirmiş	Grafiksel bir stil	Daha çok illüstratif.	Bilimsel anlatı başarısız.
DALL·E	Genel hatlar korunmuş, ama detaylarda belirsizlik var.	Sinematik ve dramatik efektler	Yumuşak geçişler, derinlik kısmen mevcut	Hem estetik hem bilimsel açıdan güçlü anlatım
Runway	Bilimsel öğeler stilize edilmiş, bazı detaylar abartılı	Canlı renkler ve sinematik ışık	Dikkat çekici görsel kompozisyon, ama gerçeklikten uzaklaşma var	Sanatsal etki güçlü, bilgi aktarımı sınırlı
Gemini	Yüksek bilimsel benzerlik ve özgün detaylar.	Doygun ve pastel tonlar	Derinlik ve ışık-gölge dengesi başarılı	Bilimsel bağlam korunmuş fakat dramatik etki sınırlı

DALL-E, Gemini, Runway ve Adobe Firefly, bilimsel görselleştirmeler ve estetik sunumlar açısından çeşitli güçlü ve zayıf yönleri sahiptir. Sade ve minimal görselleştirme yaklaşımı ile doğrudan bilgi sunan Gemini, bilimsel doğruluk açısından öne çıkmaktadır. Ancak derinlik ve detay eksikliği diğer modellere göre görsel estetik açısından zayıf kalmasına neden olmaktadır. DALL-E, bilimsel detayları başarıyla yansıtırken aynı zamanda dramatik ve sinematik bir estetik sunmuştur. Fiziksel olayları detaylı ve çekici bir şekilde işleme yeteneği, bu modeli güçlü kılar. Ancak, dramatik efektlerin fazlalığı bilimsel doğruluğun önüne geçebilir. Bu model, bilimsel verilerin popüler medya görselleştirmelerinde ve geniş kitlelere hitap eden projelerde öne çıkabilir. Runway de görsellik açısından oldukça etkileyicidir ve estetik anlamda güçlü bir modeldir. Canlı renkler, detaylı ve dinamik ışık efektleri, görsellerin izleyici üzerinde güçlü bir etki yaratmasını sağlayabilir. Ancak, bu estetik yaklaşım bilimsel doğruluk açısından bazı eksiklikler doğurabilir. Dinamizm ve görsellik ön planda olduğundan, detaylar bazen bilimsel hassasiyetle uyumsuz hale gelebilir. Runway, daha çok bilimsel olayların doğruluk hassasiyetine gerek duyulmayan ancak sanatsal ve çarpıcı bir şekilde anlatılmasını gerektiren

projelerde başarılı olabilir. Adobe Firefly, referans görsellerin yüklenmesi durumunda bilimsel doğruluğu ve görsel çekiciliği yüksek sonuçlar üretebilir. Ancak, referans olmadan yapılan istemlerde daha stilize bir yaklaşım sergileyerek bilimsel gerçeklikten uzaklaşabilir. Bu karşılaştırmalar, YZ üretimli görsellerin, belirgin detayları sunabilse de bazen gerçeklikten uzak semboller veya yapılar barındırabileceğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak hem bilimsel doğruluk hem görsel etki açısından en başarılı modelin DALL-E olduğu söylenebilir (Tablo 4). DALL-E, bilimsel detayları dramatik bir görsellikle sunarak hem eğitim ve araştırma projelerinde hem de geniş kitlelere hitap eden bilim iletişimi amaçlı projelerde öne çıkabilir.

Tablo 4. Görselleştirme Araçları Karşılaştırmalı Puanlama Tablosu (0-5 Arası Ölçek)

Kriterler	DALL·E	Runway	Gemini	Firefly
Bilimsel Temsiliyet	5	4	3	2
Estetik Kompozisyon	5	5	3	4
Derinlik ve 3B Hissi	4	3	2	3
Işık-Gölge Kullanımı	4	4	3	2
Anlatısal Bütünlük	5	5	4	2
Toplam Puan	23	21	15	13

OpenAI'nin DALL-E modelinin bilimsel görselleştirmelerde kullanılmasına yönelik bir başka araştırma olan Olay Ufku Teleskobu tarafından çekilen ilk karadelik fotoğrafını temel alan bir çalışma, DALL-E'nin bu türden bir görüntüyü etkileyici bir şekilde yeniden oluşturabileceğini göstermiştir. Benzer şekilde, DALL-E'nin bir gezegenin görselleştirilmesi konusundaki performansı da dikkat çekicidir. NASA'nın basın bültenlerinde sıklıkla kullanılan görsellerden ilham alan DALL-E, bir takımyıldızı fonunda yer alan bir gök cismini başarılı bir şekilde temsil etmiştir. Model, gezegenin yüzey dokusunu, üzerine düşen gölgeleri ve yıldızlararası ortamın parıltısını detaylı bir şekilde yakalayarak, bu türden bir görselleştirmenin özünü yansıtmayı başarmıştır. Kepler-1156b'nin bir illüstrasyonuna benzer şekilde oluşturulan bu tasvir hem bilimsel doğruluğu hem de estetik etkisiyle gerçek bir gezegen keşfinin izlenimini yaratmıştır. Bu karşılaştırmalar, DALL-E'nin astronomi görselleştirme süreçlerinde yüksek doğruluk ve estetik bir kalite sağlayabilme potansiyelini gözler önüne sermektedir (Kim vd., 2024).

Bu çalışmada, yapay zekâ tabanlı araçlarla üretilen görsellerin analizi üzerinden, bu yeni yöntemlerin bilimsel görselleştirme süreçlerinde nasıl bir dönüşüm sağladığı ortaya konulmaktadır. Geleneksel yöntemler fiziksel modellere dayalı yüksek doğruluk sağlarken, yoğun hesaplama gereksinimi nedeniyle zaman ve kaynak açısından sınırlayıcı olabilmektedir. Buna karşılık yapay zekâ tabanlı görselleştirme yöntemleri, veri işleme ve görselleştirme süreçlerini büyük ölçüde hızlandırmakta, estetik açıdan zengin ve erişilebilir sonuçlar sunmaktadır (Tablo 5).

Tablo 5. Geleneksel ve Yapay Zekâ Görselleştirme Yöntemlerinin Karşılaştırması

Özellik	Geleneksel Yöntemler	Yapay Zekâ Tabanlı Yöntemler
Hız	Yoğun hesaplama gerektirir, zaman alıcıdır.	Veri işleme ve görselleştirme süreçlerini büyük ölçüde hızlandırır.
Doğruluk	Fiziksel modeller ve denklemlere dayanır, genelde yüksek doğruluk sağlar.	Veri odaklı yöntemler kullanır; doğruluk, verinin veya istemin (prompt) kalitesine bağlıdır.
Estetik ve Görsellik	İşlevseldir ancak estetik açıdan sınırlıdır.	Hem estetik, etkileyici hem de işlevsel görseller üretir.
Erişilebilirlik	Yüksek öğrenme becerisi gerektirir.	Kullanıcı dostu arayüzler daha erişilebilir.

Üretken yapay zekâ (AI) modellerinin başarısında, doğru bir şekilde formüle edilmiş istemlerin önemi büyüktür. İstemler, bir yönlendirme mekanizması gibi hareket ederek modelin ürettiği çıktının doğruluğunu ve kullanıcı amacına uygunluğunu belirler. Doğru bir şekilde tanımlanan istemler, modelin belirsizliklerini azaltır, üretken süreci hızlandırır ve sonucun hassasiyetini artırır. Kim ve diğerlerinin (2024) deyişiyle, bir istem oluşturmak bir bilim olduğu kadar bir sanattır. Bu çalışma kapsamında yapılan uygulamalarda belirli istemlerin, görselleştirme süreçlerinde YZ'nin performansını büyük ölçüde geliştirdiğini gözlemlenmiştir. Ancak, belirsiz ya da yetersiz tanımlanmış istemler, modelin daha geniş bir bağlamı anlamaya çalışmasıyla sonuçlanmış ve bu da ek yinelemeler veya iyileştirmeler gerektirerek ilk beklentilerle uyumayan sonuçlara yol açmıştır.

SONUÇ

Yapay zekâ destekli bilimsel görselleştirme, bilimsel bilginin daha etkili, erişilebilir ve estetik bir şekilde sunulması için devrim niteliğinde bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışma, yapay zekânın bilimsel görselleştirme süreçlerindeki rolünü derinlemesine ele alarak, bu teknolojilerin bilimsel keşif süreçlerine katkılarını ve bilim iletişimindeki dönüştürücü etkilerini ortaya koymuştur.

Bulgular, yapay zekânın karmaşık ve çok boyutlu veri setlerini daha anlaşılır ve etkileyici görsel temsillere dönüştürdüğünü göstermektedir. Özellikle astrofizik ve astronomi gibi disiplinlerde, yapay zekâ modelleri, büyük veri yoğunluklu bilimsel bağlamlarda doğru, estetik ve işlevsel görselleştirmeler sunarak bilimsel bilginin kavranmasını kolaylaştırmaktadır. DALL·E ve benzeri üretken yapay zekâ modelleri, bilimsel verilerin görselleştirilmesinde büyük bir potansiyel sergilemektedir. Ancak bu modellerin çıktılarındaki doğruluk ve güvenilirlik, insan uzmanlığının katkısıyla artırılmakta ve sürekli denetim gerektirmektedir. Bu noktada bilimsel görselleştirmelerin oluşturulmasında doğruluk eşiklerine ilişkin net bir yönergenin bulunmadığı ve bunun yapay zekâ tarafından üretilen görsellerin adil şekilde değerlendirilmesini zorlaştırdığı unutulmamalıdır. Yapay zekâ tarafından oluşturulan yanlış görselleştirmelerin ortaya çıkmasıyla birlikte, araştırmacıların bu tür görselleştirmelerin değerlendirilmesi için kriterler geliştirmeye başlaması gerekmektedir.

Yalnızca teknolojinin sunduğu avantajlara odaklanmak yerine, yapay zekâ tarafından üretilen görsellerin yanlış kullanım riski, veri manipülasyonu ve yanlış bilgilendirme olasılıkları da göz önünde bulundurulmalıdır. Yüksek tasarım kalitesi ve çekici stiller, olgusal doğruluk beklentisinin artmasına neden olmaktadır. Profesyonel düzeyde çizimler oluşturmak için üretken bir yapay zekâ kullanmak ve ardından bunların olgusal doğruluğunu kontrol etmemek, etik olmayan bir 'kısayol' olarak algılanabilir. Yapay zekâ tarafından oluşturulan yanlış görseller, insan tarafından oluşturulan yanlış grafiklerden daha itici algılanabilir ve muhtemelen daha sert yargılara

yol açabilir. Bu nedenle bilim insanlarına ve görsel tasarım uzmanlarına yönelik, yapay zekâ tabanlı araçların etkili, doğru ve etik kullanımı üzerine özel eğitim programlarının geliştirilmesi kritik bir gerekliliktir. Dergiler ve konferanslar, yapay zekâ modellerinin ürettiği görsellerin değerlendirildiği süreçlere yapay zekâ uzmanlarını dahil ederek bu alanda uzmanlaşmış içgörüler sağlayabilir. Bu tür iş birlikleri, bilimsel çıktılardaki tutarlılığı artırmak ve şeffaflığı sağlamak adına büyük önem taşımaktadır.

Her ne kadar yapay zekâ teknolojileri büyük bir potansiyel sunsa da insan uzmanlığı bu sürecin ayrılmaz bir parçası olmaya devam etmektedir. Yapay zekâ modelleri, görselleştirme süreçlerini hızlandırabilir ve kolaylaştırabilir, ancak bilimsel bağlamı anlamlandırma, doğru sonuçları seçme ve bu sonuçları bilimsel toplulukla paylaşma noktasında insan müdahalesi gereklidir. Görsel tasarımcılar ve grafik sanatçıları, yapay zekâ tarafından oluşturulan görsellerin estetik ve işlevsel açıdan mükemmel olmasını sağlamak için kritik bir rol üstlenmektedir.

Bu çalışma, yapay zekâ destekli bilimsel görselleştirme tekniklerinin yalnızca mevcut bilimsel süreçlere katkıda bulunmakla kalmadığını, aynı zamanda bilim iletişiminde bir paradigma değişimini tetiklediğini ortaya koymakta ve bilimin geleceğini şekillendiren güçlü bir araç olarak kabul edilmektedir. Ancak, bu teknolojilerin etkili bir şekilde kullanılması, etik sorumlulukların gözetilmesi ve insan uzmanlığıyla desteklenmesiyle mümkün olacaktır. Bu yaklaşım, bilimsel iletişimin daha etkili hale gelmesini, bilimsel keşiflerin hızlanmasını ve disiplinlerarası iş birliğinin güçlenmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Alarcon, N. (2020). Using AI-based emulators to speed up simulations by billions of times. *NVIDIA Developer*. Erişim: 09.07.2024, <https://developer.nvidia.com/blog/using-ai-based-emulators-to-speed-up-simulations-by-billions-of-times/>
- Ansys. (t.y.). The intersection of AI and simulation technology. *Ansys*. Erişim: 01.09.2024, <https://www.ansys.com/blog/simulation-and-ai>
- Barros, Y. (2023). Unveiling the cosmic frontier: The synergy of artificial intelligence and astrophysics [Gönderi]. *LinkedIn*. Erişim: 22.10.2024, <https://www.linkedin.com/pulse/unveiling-cosmic-frontier-synergy-artificial-yan-barros/>
- Benger, W., Haider, M., Stoeckl, J., Cosenza, B., Ritter, M., Steinhäuser, D., ve Höller-Lugmayr, H. (2012). *Visualization methods for numerical astrophysics*. InTech. <https://doi.org/10.5772/32203>
- Card, S., Mackinlay, J., ve Shneiderman, B. (1999). *Readings in information visualization: Using vision to think*. Morgan Kaufmann.
- Daston, L., ve Galison, P. (2007). *Objectivity*. Zone Books.
- Editverse. (t.y.). Yapay zekâ ile geliştirilmiş veri görselleştirme: Bilimsel grafiklemeye yeni norm. Erişim: 15.12.2024, <https://www.editverse.com/tr/AI-geli%C5%9Fmi%C5%9F-veri-g%C3%B6rselle%C5%9Ftirilmesi-bilimsel-grafik-olu%C5%9Fturmada-yeni-norm-2024-2025/>
- Gajani, A. (2023). Harnessing the potential of AI in modern astronomy. *Scientia*. Erişim: 07.08.2024, <https://scientiamag.org/harnessing-the-potential-of-artificial-intelligence-in-modern-astronomy/>
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception: Classic edition*. Houghton Mifflin.
- Gould, J. (2023). Art and science: Close cousins or polar opposites? *Nature*. Erişim: 06.08.2024, <https://www.nature.com/articles/d41586-023-03389-5>
- Gould, J. (2023). Scientific illustration: Striking the balance between creativity and accuracy. *Nature*. Erişim: 06.08.2024, <https://www.nature.com/articles/d41586-023-03391-x>
- Groenewald, E., Kumar, N., ve Groenewald, C. A. (2024). AI-assisted astronomical data analysis: Unveiling patterns and phenomena in the universe. *Naturalista Campano*, 28(1), 1916–1925.
- He, S., Li, Y., Feng, Y., Ho, S., Ravanbakhsh, S., Chen, W., ve Póczos, B. (2019). Learning to predict the cosmological structure formation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(28), 13825–13832. <https://doi.org/10.1073/pnas.1821458116>
- Hutson, M. (2020). From models of galaxies to atoms, simple AI shortcuts speed up simulations by billions of times. *Science*. Erişim: 09.08.2024, <https://www.science.org/content/article/models-galaxies-atoms-simple-ai-shortcuts-speed-simulations-billions-times>
- Jarolim, R. (t.y.). Solar image enhancement with artificial intelligence. Erişim: 22.08.2024, https://est-east.eu/?option=com_content&view=article&id=911&lang=en&Itemid=622
- Jones, J. (2012). Science is more beautiful than art. *The Guardian*. Erişim: 15.07.2024, <http://www.guardian.co.uk/artand-design/jonathanjonesblog/2012/sep/19/science-more-beautiful-than-art>
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. Farrar, Straus and Giroux.
- Kasim, M. F., Watson-Parris, D., Deaconu, L., Oliver, S., Hatfield, P., Froula, D. H., Gregori, G., Jarvis, M., Khatiwala, S., Korenaga, J., Topp-Muggleston, J., Viezzer, E., ve Vinko, S. M. (2022). Building high accuracy emulators for scientific simulations with deep neural architecture search. *Machine Learning: Science and Technology*, 3(1), 015013. <https://doi.org/10.1088/2632-2153/ac3ffa>
- Kim, J. J. H., Um, R. S., Lee, J. W. Y. vd. (2024). Generative AI can fabricate advanced scientific visualizations: Ethical implications and strategic mitigation framework. *AI Ethics*. <https://doi.org/10.1007/s43681-024-00439-0>
- Kolijn, E. (2013). Observation and visualization: Reflections on the relationship between science, visual arts, and the evolution of the scientific image. *Antonie van Leeuwenhoek*, 104, 597–608. <https://doi.org/10.1007/s10482-013-9951-z>
- Krenn, M., Pollice, R., Guo, S. Y., Aldeghi, M., Cervera-Lierta, A., Friederich, P., Gomes, G. D., Hase, F., Jinich, A., Nigam, A., Yao, Z., ve Aspuru-Guzik, A. (2022). On scientific understanding with artificial intelligence. *Nature Reviews Physics*, 4, 761–769. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2204.01467>
- Li, Y., Ni, Y., Croft, R., Matteo, T., Bird, S., ve Feng, Y. (2021). AI-assisted superresolution cosmological simulations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(19). <https://doi.org/10.1073/pnas.2022038118>

- Medeiros, L., Psaltis, D., Lauer, T., ve Özel, F. (2023). The image of the M87 black hole reconstructed with PRIMO. *The Astrophysical Journal Letters*, 947(7). <https://doi.org/10.3847/2041-8213/acc32d>
- NASA. (2011). NASA's Swift satellite spots black hole devouring a star. Erişim: 02.08.2024, <https://svs.gsfc.nasa.gov/10807/>
- NASA. (2018). The Pillars of Creation. Erişim: 11.08.2024, <https://www.nasa.gov/image-article/pillars-of-creation/>
- NASA. (2023). Dark matter: Roman Space Telescope. Erişim: 05.08.2024, <https://science.nasa.gov/mission/roman-space-telescope/dark-matter/>
- Nature. (2021). Collaborations with artists go beyond communicating the science. Erişim 21.11.2024, <https://www.nature.com/articles/d41586-021-00469-2>
- Pandey, Y., Gautam, V., Mowade, V., Telang, S., ve Bhagat, S. (2024). A review on image enhancement using AI. *International Journal for Multidisciplinary Research (IJFMR)*, 6(5). <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i05.29653>
- Pittalwala, I. (2021). Algorithm helps speed up scientific simulations of the universe. *Inside UCR*. Erişim: 17.09.2024, <https://insideucr.ucr.edu/stories/2021/05/11/algorithm-helps-speed-simulation-vast-complex-universes>
- Ravanbakhsh, M., Nabi, M., Sangineto, E., Marcenaro, L., Regazzoni, C., ve Sebe, N. (2017). Abnormal event detection in videos using generative adversarial nets. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 1577–1581. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICIP.2017.8296547>
- Root-Bernstein, R. (2000). Science in culture. *Nature*, 407, 134. <https://doi.org/10.1038/35025133>
- Samsel, F., Bartram, L. R., ve Bares, A. (2018). Art, affect, and color: Exploring the impact of artistic visualization on affective response. In *2018 IEEE VIS Arts Program (VISAP)*, 1–9. <https://doi.org/10.1109/VISAP45312.2018.9046053>
- Shirasaki, M., Moriwaki, K., Oogi, T., Yoshida, N., Ikeda, S., ve Nishimichi, T. (2021). Noise reduction for weak lensing mass mapping: An application of generative adversarial networks to Subaru Hyper Suprime-Cam first-year data. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 504(2), 1825–1839. <https://doi.org/10.1093/mnras/stab982>
- Sönmez, Ü. (2024). Grafik tasarım tarihinde teknolojik ilerlemeler ve yapay zekânın yaratıcılığa etkileri. *Yeni Yüzyıl'da İletişim Çalışmaları*, 2(9), 37–43.
- Sutter, P. (2023). AI is already helping astronomers make incredible discoveries. Here's how. *Space*. Erişim: 18.11.2024, <https://www.space.com/ai-astronomy-discoveries>
- Team Emb. (2023). AI in astrophysics: Unlocking mysteries of the universe. *EMB Global Blog*. Erişim: 20.09.2024, <https://blog.emb.global/ai-in-astrophysics/>
- Wainwright, S. (2023). AI in astronomy: Unlocking the secrets of the cosmos. *Space*. Erişim: 17.09.2024, <https://www.space.com/ai-in-astronomy>
- Wang, H., Ye, J., Hao, J., Hou, Y., Hou, Y., Wang, Z., Xiao, S., Luo, Y., ve Zeng, W. (2023). Generative adversarial networks for scientific discovery: *An overview*. *Nature*, 620, 47–60. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06221-2>

Yazar Katkı Oranları

Yazarlar araştırmaya eşit oranda katkıda bulunmuştur.