

Fizik Öğretimi ve Öğreniminde Güncel Yaklaşımlar

MURAT ÇETİNKAYA



BİDGE Yayınları

Fizik Öğretimi ve Öğreniminde Güncel Yaklaşımlar

Editör: MURAT ÇETİNKAYA

ISBN: 978-625-372-943-1

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 2025-12-25

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



ÖNSÖZ

Fizik, doğayı anlama çabasının en temel disiplinlerindendir. Bireylerin analitik düşünme, problem çözme ve bilimsel muhakeme becerilerini geliştirmede önemli bir role sahiptir. Fiziğin hayatın içinde yer alan yansımalarının öğrenciler tarafından anlamlı, kalıcı ve günlük yaşamla ilişkilendirilmiş biçimde öğrenilmesi beklenir. Bu beklentinin gerçekleşmesinde etkili bir fizik eğitimi anlayışının benimsenmesi ve uygulanması gerekmektedir. Bu bağlamda fizik eğitimi; yalnızca kavramların aktarımını değil, aynı zamanda öğrenenin aktif katılımını, sorgulamasını ve bilimsel süreç becerilerini kullanmasını esas alan çok boyutlu bir alan olarak ele alınmalıdır.

Bu kitap, fizik eğitiminin kuramsal temellerini güncel araştırmalarla ele almayı amaçlamaktadır. Kitapta yer alan bölümler, alanında uzman araştırmacıların katkılarıyla hazırlanmış olup fizik eğitiminin farklı boyutlarını bütüncül bir bakış açısıyla ele almaktadır. Bu kitabın, öğretmen adaylarının mesleki gelişimlerine, öğretmenlerin sınıf içi uygulamalarına, araştırmacıların akademik çalışmalarına yol gösterici olacağına inanıyoruz. Kitabın hazırlanmasında emeği geçen tüm yazarlarımıza ve bu çalışmayı bilim dünyasıyla buluşturan BİDGE Yayınevine teşekkür eder, eserin tüm okurlar için faydalı olmasını dileriz.

Prof. Dr. Murat ÇETİNKAYA

ORDU ÜNİVERSİTESİ

İÇİNDEKİLER

FİZİK EĞİTİMİNDE EPİSTEMOLOJİK BİR ARAÇ OLARAK CROOKES RADYOMETRESİ	1
--	---

EROL SÜZÜK, HAMZA YAŞAR OCAK, HATİCE ESRA CÖMERT

CHATGPT VE GEMINI YAPAY ZEKA UYGULAMALARININ ÇOKTAN SEÇMELİ FİZİK SORULARINDAKİ PERFORMANSININ İNCELENMESİ	37
--	----

OSMAN TÜRK

YAPAY ZEKA VE EĞİTİM İLE İLGİLİ BİBLİYOMETRİK ÇALIŞMA	72
--	----

HALİL UĞUR TAŞDEMİR

BÖLÜM 1

FİZİK EĞİTİMİNDE EPİSTEMOLOJİK BİR ARAÇ OLARAK CROOKES RADYOMETRESİ

1. Erol SÜZÜK¹

2. Hamza Yaşar OCAK²

3. Hatice Esra CÖMERT³

Giriş

Bilimsel bilginin gelişimi, doğrusal bir veri birikiminin aksine dinamik bir inşa sürecidir; bu süreçte gözlemler sürekli yeniden yorumlanır, hatalı modeller elenir ve teorik çerçeveler önemli değişiklikler geçirir. 19. yüzyılın ikinci yarısında Sir William Crookes tarafından talyum elementinin atom ağırlığını belirlemek için yapılan hassas tartım deneyleri sırasında beklenmedik bir "anomali" olarak ortaya çıkan Crookes radyometresi, bu deneyin en etkileyici örneklerinden biridir. Günümüzde, bu düzenek estetik bir tarihsel obje veya sadece bir "ışık değirmeni" olarak görülse de, aslında önemli bir fiziksel fenomendir ve makroskobik gaz kinetiği

¹ Doç. Dr., Marmara Üniversitesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Orcid: 0000-0001-5520-5597

² Prof. Dr., Marmara Üniversitesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Orcid: 0000-0002-8573-9730

³ Arş. Gör., Marmara Üniversitesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Orcid: 0009-0007-3977-7852

ile mikroskopik gözlemler arasındaki karmaşık ilişkiyi göstermektedir. Radyometrenin tarihi, ilk kabul gören "ışık basıncı" teorisinden Maxwell ve Reynolds'un "termal transpirasyon" ve "gaz kinetiği" teorilerine kadar uzanır ve bu durum fizik eğitimi için zengin bir bağlam sağlar.

Fizik eğitimi sırasında öğrenciler genellikle radyometrenin dönme hareketini yorumlamak için basit ancak yanlış olan "ışığın itme kuvveti" modelini kullanırlar. Tarihsel gelişim ve bireysel öğrenme arasındaki bu benzerlik, radyometreyi güçlü bir pedagojik araç haline getirir; çünkü bu süreç kavramsal yanılgıları ortadan kaldırmaya ve kavramsal değişim sürecini başlatmaya imkân tanır. Bu kitap bölümünde, Crookes radyometresi yalnızca teknik bir deney düzeneği olarak değil, bilimin doğasını, modelleme yöntemlerini ve bilimsel sorgulamayı derse taşıyan çok yönlü bir öğretim materyali olarak ele alınmaktadır. Çalışma, radyometrenin tarihsel kökenini ve bilimsel temellerini açıkladıktan sonra kavramsal değişim stratejileri içindeki rolünü incelemektedir. 5E modeli, Sorgulamaya Dayalı Öğrenme (IBL) yaklaşımına dayalı olarak yapılandırılmış kapsamlı bir uygulama senaryosu ile teorik temeli sınıf içi pratiğe aktarmaktadır. Çalışma, dışarıdan basit görünen bu cam fanusun pedagojik ve fiziksel potansiyeli hakkında eğitimciler ve araştırmacılara farkındalık sağlama amacı gütmektedir.

Crookes Radyometresinin Tarihsel Arka Planı ve Bilimsel Gelişimi

Crookes radyometresi, 19. yüzyılın ikinci yarısında fizik tarihinde hem deneysel hem de kuramsal tartışmaların merkezine yerleşmiş, basit görünümüne rağmen bilimsel modellerin dönüşümünü ve bilimin doğasını sembolize eden eşsiz bir düzenektir. Radyometrenin icadına giden bu karmaşık yolculuk, Sir William Crookes'un 1861 yılında yeni bir element olan talyumu

keşfetmesiyle başlamıştır (Woodruff, 1966). Crookes, ilerleyen yıllarda talyumun atom ağırlığını hassas bir şekilde belirlemek amacıyla havası boşaltılmış haznelerde tartım deneyleri yürütürken beklenmedik bir anomaliyle karşılaşmıştır. Bu deneyler sırasında, sıcak cisimlerin soğuk olanlara göre daha hafif ölçüldüğünü fark eden Crookes, bu olgunun klasik hava akımları ile açıklanamayacak biçimde vakum ortamında da devam ettiğini gözlemlemiş ve başlangıçta bunun ısı ile kütle çekimi arasında henüz bilinmeyen bir ilişki olabileceğini düşünmüştür (Crookes, 1874; Wess, 2010). Ancak, vakum seviyesini artırarak yaptığı sonraki deneylerde, belirli bir basınç değerinin altında etkinin yön değiştirdiğini ve sıcak cismin yukarı kalkmak yerine aşağı doğru itildiğini (ters hareket) kaydetmesiyle bu hipotez çürütülmüştür. Bu kritik gözlem, Crookes'un kütle çekim hipotezini elemesine ve olguyu "Radyasyon Sonucunda İtme" (Repulsion Resulting from Radiation) olarak tanımlamasına yol açmıştır (Woodruff, 1966). Bu doğrultuda 1876 yılında, bir mil üzerine yerleştirilmiş dört kanatlı çark sistemini geliştiren Crookes; kanatların bir yüzünü karartıp (siyah) diğer yüzünü yansıtıcı (gümüş/parlak) bırakarak, ışık altında sürekli dönen ilk gerçek radyometreyi ("light mill") bilim dünyasına tanıtmıştır (Woodruff, 1966; Crookes, 1874).

Crookes, radyometrede gözlenen bu gizemli dönme hareketini başlangıçta James Clerk Maxwell'in elektromanyetik teorisi (1873) çerçevesinde öngördüğü "ışık basıncı" (radiation pressure) kavramı ile açıklamaya çalışmışsa da bu hipotez temel deneysel gözlemlerle ciddi çelişkiler barındırmaktaydı. Eğer hareket ışık basıncından kaynaklansaydı, yansıtıcı (parlak) yüzeyin fotonları geri yansıtması nedeniyle daha büyük bir momentum transferine maruz kalması ve siyah yüzeyden daha fazla itilmesi gerekirdi; oysa radyometrede siyah yüzey itilerek ışıktan kaçmaktaydı (Ketsdever, Gimelshein, Gimelshein, & Selden, 2012; Woodruff, 1966). Bu teorik açmazı çözen ve ışık basıncı hipotezini kesin olarak çürüten

kanıt, Arthur Schuster'ın 1876 yılında gerçekleştirdiği zekice tasarlanmış deneyden gelmiştir. Schuster, radyometre kasasını (cam fanusu) serbestçe dönebilecek şekilde ince liflerle askıya almış ve pervaneler ışık altında dönerken, cam kasanın pervanelere zıt yönde döndüğünü gözlemlemiştir. Newton'ın üçüncü yasasına (etki-tepki) dayanan bu bulgu, dönme nedeninin dışarıdan gelen ışık basıncı değil, sistemin içindeki gaz moleküllerinin kanatlarla etkileşimi (iç kuvvetler) olduğunu tartışmaya yer bırakmayacak şekilde kanıtlamıştır (Woodruff, 1966).

Schuster'ın bu belirleyici deneyinden sonra bilimsel odak, fanus içindeki "artık gazın" (residual gas) mekanik etkilerine kaymış ve kinetik teori temelli açıklamalar geliştirilmeye başlanmıştır. İlk dönemde Johnstone Stoney, gaz moleküllerinin sıcak yüzeyden daha yüksek hızla sekerek bir itme (recoil) oluşturduğunu öne süren basit bir kinetik model önermiş olsa da (Woodruff, 1966), bu model moleküllerin birbirleriyle çarpışmasını ihmal ettiği için olguyu tam olarak açıklamakta yetersiz kalmıştır. Radyometre için en kapsamlı ve bugün de geçerliliğini koruyan teorik çerçeve ise Osborne Reynolds ve James Clerk Maxwell tarafından 1879 yılında çizilmiştir. Reynolds, gazın sıcaklık farkı nedeniyle gözenekli yüzeylerden akması fenomeni olan "Termal Transpirasyon" (Thermal Transpiration) teorisini geliştirmiş ve radyometredeki itkinin gazın moleküler yapısından kaynaklandığını deneysel olarak göstermiştir (Reynolds, 1879; Woodruff, 1966). Maxwell ise aynı yıl yayımladığı çalışmasında, seyreltilmiş gazlarda sıcaklık gradyentlerinin yüzey kenarlarında "termal gerilmeler" (thermal stresses) oluşturduğunu matematiksel olarak ispatlamıştır. Maxwell'e göre gaz, kanadın soğuk yüzeyinden sıcak yüzeyine doğru yüzey boyunca oluşan thermal creep akışı ile hareket eder; bu akış kanat kenarlarında termal gerilmeler ve basınç dengesizlikleri oluşturarak radyometrenin dönmesini sağlar (Maxwell, 1879; Ketsdever, Gimelshein, Gimelshein, & Selden, 2012).

Maxwell ve Reynolds'ın çalışmaları temel kabul edilse de, radyometre üzerindeki araştırmalar 20. yüzyılda da hız kesmemiş ve olgu daha detaylı modellerle tanımlanmıştır. Örneğın Albert Einstein, 1924 yılında radyometrik kuvvetin kanatların yüzey alanından ziyade çevresiyle (perimetresi) orantılı olduğunu öne süren basitleştirilmiş bir teori sunmuş; ancak sonraki analizler bu teorinin öngördüğü kuvvetin, gözlemlenen hareketi açıklamakta miktar olarak yetersiz kaldığını göstermiştir (Einstein, 1924; Ketsdever, Gimelshein, Gimelshein, & Selden, 2012). Daha deneysel bir yaklaşım ise 1928 yılında Br che ve Littwin tarafından ortaya konmuştur. Araştırmacılar, radyometre kuvvetinin gaz basıncına bağlı değişimini deneysel olarak haritalandırmış ve radyometrik kuvvetin basıncın logaritması ile çizildiğinde " an eğrisi" şeklinde bir dağılım gösterdiğini kanıtlamışlardır. Bu  alışma, kuvvetin ne tam vakumda ne de yüksek basınçta olduğunu, belirli bir optimum basınç aralığında (yaklaşık 1-10 Pa) maksimuma ulaştığını göstermesi bakımından kritiktir (Br che & Littwin, 1929; Ketsdever, Gimelshein, Gimelshein, & Selden, 2012). Günümüzde ise modern hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) ve kinetik yöntemlerle ( rn. DSMC) yapılan analizler, bu tarihsel birikimi doğrulamakta ve radyometrik kuvvetin tek bir mekanizma değil; Alan Kuvveti (Area Force), Kenar Kuvveti (Edge Force) ve Kayma Kuvveti (Shear Force) gibi bileşenlerin birleşimi olduğunu, kuvvetin ise Knudsen sayısının yaklaşık 0.1 olduğu "geçiş rejimi"nde (transition regime) zirve yaptığını ortaya koymaktadır (Ketsdever, Gimelshein, Gimelshein, & Selden, 2012).

Bu yönüyle Crookes radyometresi, fizik tarihinde yalnızca bir "oyuncak aygıt" değil, bilginin nasıl üretildiğini, yanlış yorumların nasıl ayıklandığını ve bilimsel modellerin nasıl dönüşüme uğradığını gösteren özgün bir epistemolojik örnek olarak konumlanmaktadır.

Görsel 1 Crookes Radyometresi



Kaynak: AEF Fizik Öğretmenliği Laboratuvarı

Radyometrik Kuvvetlerin Fiziksel Mekanizması: Termal Transpirasyondan Knudsen Rejimine

Crookes radyometresinde gözlenen dönme hareketi, uzun yıllar boyunca ışık basıncıyla açıklanmaya çalışılmış olsa da günümüzde bu etki, seyreltilmiş gaz dinamiği çerçevesinde çok daha sağlam, tutarlı ve nicel bir biçimde yorumlanmaktadır. Radyometrenin çalışma prensibini anlamak, öncelikle sistemin hangi akış rejiminde faaliyet gösterdiğinin belirlenmesini gerektirir.

Bir gaz akışının hangi fiziksel yasalarla yönetildiği, gaz moleküllerinin ortalama serbest yol uzunluğu (λ) ile karakteristik sistem boyutu (L) arasındaki oranla belirlenir. Bu oran Knudsen sayısı ($Kn = \lambda / L$) olarak tanımlanır. Ketsdever ve çalışma arkadaşlarına göre üç temel rejim bulunmaktadır:

- Sürekli akış rejimi ($Kn < 0.001$): Klasik akışkanlar mekaniği geçerlidir.
- Geçiş rejimi ($0.001 < Kn < 10$): Moleküler etkiler baskın hâle gelir.
- Serbest moleküler rejim ($Kn > 10$): Moleküller arası çarpışmalar ihmal edilebilir düzeydedir.

Crookes radyometresi, tam olarak geçiş rejiminde (yaklaşık $Kn \approx 0.1$) en yüksek dönme hızını sergiler. Bu nedenle radyometrik kuvvet, ne klasik akışkanlar mekaniğiyle ne de salt serbest moleküler çarpışma modeliyle açıklanabilir; yalnızca kinetik yaklaşım geçerlidir (Ketsdever, Gimelshein, Gimelshein, & Selden, 2012). Bu bulgu, radyometrik kuvvetin klasik aerodinamik yasalarla değil, ancak moleküler kinetik yaklaşımlarla açıklanabileceğinin ve mekanizmanın foton momentumundan ziyade seyreltilmiş gaz moleküllerinin sıcaklık farkına verdiği asimetric tepkiden kaynaklandığının en net göstergesidir.

Radyometrenin bu özel basınç aralığında nasıl mekanik kuvvet ürettiği sorusu, fizik tarihinde "termal transpirasyon" kavramıyla yanıt bulmuştur. Osborne Reynolds, 1879 yılında yayımladığı kapsamlı çalışmasında, bir gazın basınç farkı olmaksızın, yalnızca sıcaklık farkı nedeniyle gözenekli yüzeylerden akabileceğini (termal transpirasyon) deneysel olarak kanıtlamıştır. Reynolds'un deneylerinde, sıcak yüzey tarafında gaz yoğunluğu azalmakta; soğuk yüzey tarafında ise artmaktadır. Bu yoğunluk farkı, sıcak taraftan soğuk tarafa doğru yönlenmiş mikroskobik ölçekte bir momentum akışı oluşturur. İşte Crookes radyometresindeki

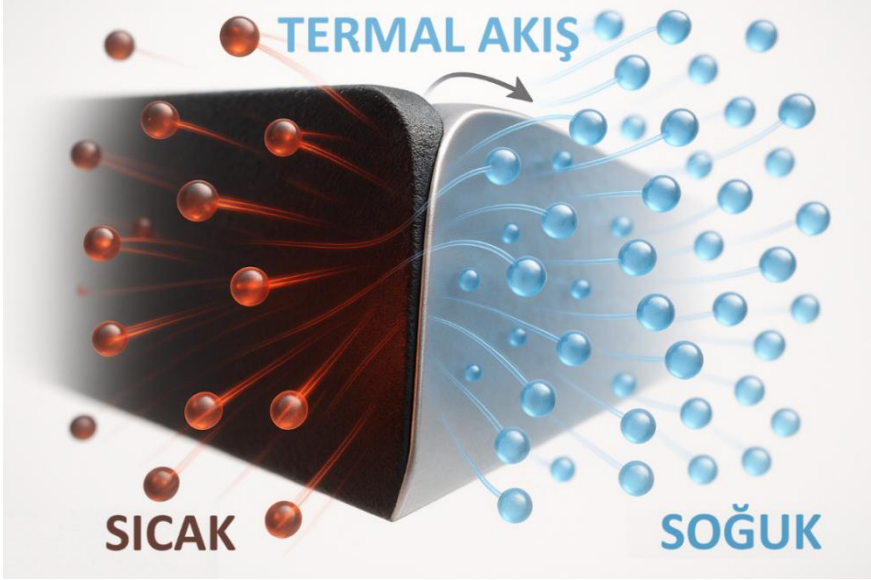
kanatların dönmesini sağlayan temel itici etki bu mekanizmadır. Reynolds'un çalışmasının en önemli sonuçlarından biri, gazın sürekli bir ortam olmadığını; aksine moleküler bir yapıya sahip olduğunu ve bu yapının düşük basınç koşullarında doğrudan mekanik etkiye dönüşebileceğini göstermesidir. Bu sonuç, yalnızca radyometreyi açıklamakla kalmamış, aynı zamanda gazların moleküler yapısının deneysel kanıtlarından biri olarak fizik tarihine geçmiştir.

Reynolds'un deneysel temelini kuramsal bir çerçeveye oturtan James Clerk Maxwell ise, 1879 tarihli çalışmasında seyreltilmiş gazlarda sıcaklık gradyentlerinin (değişimlerinin) basıncı izotropik olmaktan çıkardığını ve yüzey kenarlarında yönlü "termal gerilmeler" (stresses) oluşturduğunu matematiksel olarak ispatlamıştır. Maxwell'e göre sıcaklığı değişen bir ortamda basınç artık tek bir skaler değer değildir; uzayda yönelmiş bir tensör büyüklüğüne dönüşür. Bu durum, özellikle küçük katı cisimler çevresinde asimetrik kuvvet dağılımları meydana getirir. Maxwell'in bu kuramı, Crookes radyometresindeki dönme hareketini ışık basıncından tamamen bağımsız, yalnızca gaz moleküllerinin kinetik davranışına bağlı olarak açıklamayı mümkün kılmıştır. Böylece radyometre, elektromanyetik bir aygıt değil; doğrudan termodinamik–kinetik bir sistem olarak yeniden tanımlanmıştır.

Günümüzde modern hesaplamalı yöntemlerle yapılan analizler, bu tarihsel temelleri doğrularken, radyometrik kuvvetin tek bir kaynaktan değil; Alan, Kenar ve Kayma kuvvetleri olmak üzere üç bileşenin etkileşiminden doğduğunu ortaya koymaktadır. Ketsdever ve arkadaşlarına (2012) göre, sıcak ve soğuk yüzeylerden yansıyan moleküllerin momentum farkından doğan "Alan Kuvveti" (Area Force), yüksek Knudsen sayılarında baskındır. Ancak radyometrenin maksimum hıza ulaştığı geçiş rejiminde, kanat uçlarındaki termal streslerden kaynaklanan "Kenar Kuvveti" (Edge Force), Alan Kuvveti ile birlikte ana sürükleyici faktör haline gelir

ve basınç arttıkça baskınlık kazanır. Buna karşılık, gazın yüzey üzerinden akışı sırasında oluşan "Kayma Kuvveti" (Shear Force), genellikle harekete direnç gösteren ters yönlü bir etki yaratır.

Görsel 2 Radyometre kanadı etrafındaki termal sürünme ve moleküler hız dağılımı



Kaynak: Yazarlar tarafından Ketsdever et al., 2012'den uyarlanmıştır.

Bu üç bileşenin hassas dengesi, radyometrenin neden belirli bir basınç aralığında ve "siyah yüzey arkada kalacak şekilde" döndüğünü nicel olarak açıklar.

Tarihsel süreçte Reynolds ve Maxwell'in bu ağır matematiksel kuramları, fizik eğitimi açısından zorlayıcı bulunduğundan, Gilbert D. West (1919) konuyu daha anlaşılır bir dille yeniden ele almıştır. West'e göre radyometredeki dönme hareketi; ısı akışı, gaz yoğunluğu farkı ve moleküler hız dağılımı arasındaki doğrudan etkileşimin makroskobik sonucu olarak ortaya çıkar. West'in katkısı, radyometreyi yalnızca matematiksel bir problem olmaktan çıkarıp, eğitsel olarak da yorumlanabilir bir modele dönüştürmesidir. Öte yandan, bilimsel tartışmalar

günümüzde de devam etmektedir. Yakın dönemde Liu (2019) tarafından öne sürülen "Transimpact" kuramı, radyometrik itkiyi termal akıştan ziyade, atomik ölçekte elektron geçişleri sırasında oluşan ani itmelere bağlamaktadır. Bu kurama göre, siyah yüzey daha fazla enerji soğurur, elektronlar daha sık uyarılır ve uyarılma sırasında atomlar arası mesafe ani olarak değişerek çevredeki gaz moleküllerine "mikro ölçekte darbe" etkisi uygular (Liu, 2019). Ancak bu yaklaşım, klasik kinetik teori kadar geniş bir deneysel desteğe sahip olmadığı için henüz tartışmalı bir alternatif model statüsündedir ve bu kitap bölümünde tamamlayıcı bir perspektif olarak ele alınmıştır.

Crookes Radyometresinin Deneysel Parametreleri ve Eğitimsel Uygulamaları

Crookes radyometresi, yalnızca tarihsel ve kuramsal bir tartışma nesnesi olmanın ötesinde, kontrollü deneysel değişkenlere verdiği hassas tepkiler nedeniyle fizik eğitimi için eşsiz bir laboratuvar aracıdır. Radyometrenin dönme yönü, hızı ve kararlılığı; ortam basıncı, ışık şiddeti, ışığın dalga boyu ve yüzey sıcaklık farkları gibi temel parametrelerin doğrudan bir fonksiyonu olarak değişir. Bu değişkenlerin başında, sistemin çalışması için en kritik sınır şartını oluşturan ortam basıncı gelmektedir. Ketsdever ve arkadaşlarının (2012) kapsamlı kinetik analizlerine göre, yaygın kanının aksine Crookes radyometresi çok yüksek vakumda çalışmaz; sistem, belirli bir optimum basınç aralığında maksimum dönme hızına ulaşır. Deneysel olarak yaklaşık 1 Pa mertebesinde olduğu gösterilen bu optimum aralık, gaz dinamiğinde Knudsen geçiş rejimine karşılık gelir. Bu fiziksel gerçeklik, öğrencilerde sıkça rastlanan “daha iyi vakum, daha hızlı dönme demektir” şeklindeki sezgisel beklentiyi deneyle yanlışlamak için mükemmel bir fırsat sunar. Çok yüksek vakumda (serbest moleküler rejimde) gaz molekülleri ortamdaki neredeyse tamamen çekildiğinde radyometrik kuvvetin de yok olması, dönme hareketinin ışık basıncından değil,

gaz moleküllerinin varlığından kaynaklandığının en somut deneysel kanıtıdır.

Sistemin çalışması için gerekli olan gaz ortamının yanı sıra, hareketi başlatan enerji kaynağının niteliği de fiziksel mekanizmanın doğru anlaşılması açısından hayati önem taşır. Radyometre genellikle “ışıkla dönen” bir araç olarak tanımlansa da, termal transpirasyon mekanizması, cihazın doğrudan görünür ışık akısından ziyade yüzeyde oluşan sıcaklık farkına duyarlı olduğunu göstermektedir (Ketsdever, Gimelshein, Gimelshein, & Selden, 2012). Bu nedenle, ısı yayımı yüksek olan kızılötesi (IR) ışıınım, radyometrenin dönme hareketinde görünür ışıktan çok daha etkilidir. Nitekim Kurt ve Topçu (2019), geliştirdikleri STEM etkinliğinde öğrencilerin tasarladıkları radyometreleri test etmek için standart bir ışık kaynağı yerine, ısı etkisi yüksek olan kızılötesi (IR) bir lamba kullanmayı tercih etmişlerdir (Kurt & Topçu, 2019). Literatürdeki bu tercih ve teorik zemin bir arada değerlendirildiğinde; yüksek IR bileşenine sahip akkor lambaların, görünür parlaklığı çok yüksek olsa da IR bileşeni düşük olan LED ışık kaynaklarına göre çok daha yüksek dönme hızı oluşturduğu fiziksel bir gerçeklik olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durum, öğrencilerde sıklıkla görülen “Daha parlak ışık her zaman daha fazla mekanik etki üretir” kavramsal yanılığını gidermek ve mekanik etkinin doğrudan parlaklıktan değil, soğurulan ısı enerjisinden kaynaklandığını göstermek için kritik bir tartışma noktasıdır.

Işık kaynağının türü kadar, bu enerjinin soğurulduğu yüzeylerin fiziksel özellikleri de dönme hareketinin yönünü ve kararlılığını belirleyen bir diğer temel faktördür. Radyometrenin her bir kanadı, asimetric bir ısı dağılımı yaratmak amacıyla bir yüzü siyah, diğer yüzü parlak olacak şekilde tasarlanmıştır. Siyah yüzey ışığı yüksek oranda soğurup hızla ısınarak çevresindeki gaz moleküllerine daha yüksek ortalama kinetik enerji kazandırırken; parlak yüzey ışığın büyük kısmını yansıtır ve daha düşük sıcaklıkta

kalır. Ketsdever ve arkadaşlarına (2012) göre bu asimetrik ısınma, kenar kuvveti ve alan kuvveti bileşenlerini aynı yönde güçlendirerek sistemin kararlı biçimde dönmesini sağlar. Bu mekanizma, Maxwell ve Reynolds'un 19. yüzyılda geliştirdiği termodinamik–kinetik yaklaşımla tamamen uyumludur.

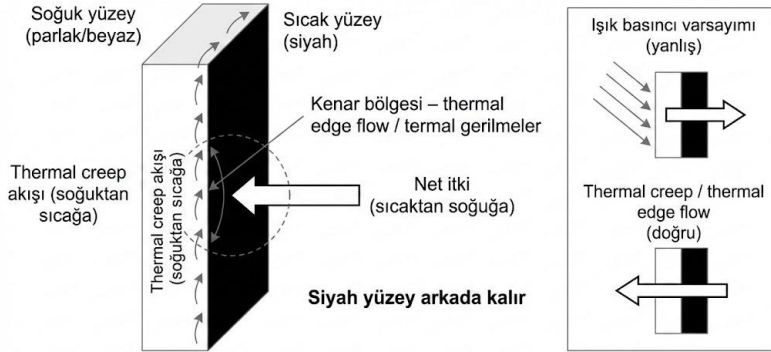
Isınma ve soğuma süreçlerine dayalı bu hassas termodinamik dengenin en çarpıcı kanıtı ise, sistem ani sıcaklık değişimlerine maruz kaldığında ortaya çıkan "ters dönme" (reverse rotation) olgusudur. Radyometre deneylerinde en dikkat çekici anlardan biri, cihazın ani şekilde soğuk bir ortama (örneğin buzdolabına) alındığında kanatların kısa bir süre için normal dönme yönünün tersine dönmesidir. Bu olgu, klasik termal transpirasyon kuramıyla tutarlıdır: Soğutma sırasında siyah yüzey daha hızlı ısı kaybeder, sıcaklık gradyenti yön değiştirir ve gaz akışı kısa süreli olarak ters yönde oluşarak ters dönmeye neden olur. Alternatif olarak Liu'nun (2019) Transimpact kuramı, bu ters dönmeyi atomik elektron geçişleri bağlamında yorumlamaktadır; ancak bu yaklaşımın deneysel doğrulama düzeyi henüz klasik kinetik kuram kadar güçlü değildir. Eğitim açısından bakıldığında ters dönme deneyi, öğrenciler için son derece güçlü bir bilişsel çelişki oluşturmakta ve model temelli düşünmenin gelişimini doğrudan desteklemektedir.

Crookes Radyometresinin Bilimin Doğası (Nos) Açısından Öğretim Potansiyeli

Crookes radyometresi, fizik tarihinde yalnızca basit bir deney düzeneği olarak değil; aynı zamanda bilimsel bilginin nasıl üretildiğini, nasıl yanlışlandığını ve tarihsel süreç içinde nasıl dönüştüğünü gösteren güçlü bir epistemolojik örnek olarak özel bir konuma sahiptir. Radyometrenin bu çok yönlü yapısı, bilimin doğasına ilişkin; bilimsel bilginin geçiciliği, yanlışlanabilirlik, gözlem–çıkarım ayrımı ve model temelli açıklama gibi temel boyutların somutlaştırılmasında son derece etkili bir öğretim

bağlamı sunar. Bu bağlamda, radyometrenin tarihsel serüveni ilk olarak bilimsel modellerin yanlışlanabilirliğine dair mükemmel bir kanıt sunmaktadır. Crookes'un 1870'lerde radyometre hareketini "ışık basıncı" ile açıklama girişimi ve bu hipotezin siyah yüzeyin itilmesi veya yüksek vakumda hareketin durması gibi deneysel verilerle çelişmesi, bilimsel bir iddianın nasıl sınındığını gösterir (Crookes, 1874). Bilimsel süreç açısından burada asıl kritik olan nokta, Crookes'un kendi önerdiği modelin, daha sonra Maxwell ve Reynolds tarafından geliştirilen ve deneylerle daha iyi uyuşan gaz kinetiği kuramı ile yer değiştirmesidir. Bu tarihsel değişim, öğrencilere bilimsel teorilerin mutlak ve değişmez doğrular olmadığını, aksine yeni kanıtlar ışığında sürekli revize edilebilen dinamik modeller olduğunu (tentatiflik) somut bir şekilde gösterir (Maxwell, 1879; Reynolds, 1879). Bu yaklaşım, modern seyretilmiş gaz dinamiği literatüründe "thermal edge flow" olarak adlandırılan mekanizma ile doğrudan örtüşmektedir. Sugimoto ve Sone (2005), keskin kenarlar çevresinde izotermelerin belirgin biçimde eğrildiğini ve bunun yüzey boyunca yönlü bir gaz akışı oluşturduğunu nicel olarak göstermiştir. Bu akış, fiziksel olarak thermal creep'in kenar odaklı bir özel durumu niteliğindedir ve makroskobik ölçekte mekanik kuvvetlere dönüştürülebilmektedir (Sugimoto & Sone, 2005). Bu yorum, Crookes radyometresine özgü kuvvetlerin yönü ve kökeni üzerine yapılan modern deneysel ve sayısal çalışmalarla da tutarlıdır. Wolfe, Larraza ve Garcia (2016), geliştirdikleri yatay kanatlı radyometre tasarımıyla thermal creep kaynaklı kesme kuvvetini Einstein etkisinden ayırtmış; söz konusu kuvvetin sıcak yüzeyden soğuk yüzeye doğru etkiğini deney, kinetik teori ve DSMC benzetimleriyle tutarlı biçimde göstermiştir (Wolfe, Larraza, & Garcia). Bu bulgular, radyometrik dönmenin özellikle kanat kenarlarında yoğunlaşan thermal creep / thermal edge flow etkisi tarafından belirlendiğini açık biçimde doğrulamaktadır.

Görsel 3 Crookes radyometresinde thermal creep / thermal edge flow mekanizmasına bağlı dönme yönünün şematik gösterimi



Crookes radyometresinde thermal creep / thermal edge flow mekanizmasına bağlı dönme yönü

Kaynak: Yazarlar tarafından Maxwell, 1879; Reynolds, 1879; Sugimoto & Sone, 2005; Wolfe, Larraza & Garcia, 2016; Ketsdever et al., 2012'den uyarlanmıştır.

Bilimsel teorilerin bu denli dinamik bir yapıda değişebilmesi, temelde gözlem ile çıkarım arasındaki kritik ayrıma ve gözlemlerin yorumlanma biçimine dayanır. Radyometre, öğrencilerde sıkça rastlanan "gözlediğim şey, olgunun nedenidir" yanılgısını kırmak için ideal bir araçtır. Gözlenen olgu "kanatların ışık altında dönmesi"dir; ancak bu gözlemden yapılan ilk sezgisel çıkarım olan "ışık iter" fikri yanlıştır. Gerçek neden olan moleküler hız dağılımları ve termal transpirasyon ise doğrudan gözlemlenemez, ancak zihinsel bir kurgu ile açıklanabilir. Bu ayrım, öğrencilere gözlemin doğrudan algılanan veri, çıkarımın ise bu veriyi açıklayan (ve hataya açık olabilen) bir süreç olduğunu öğretir. Wess'in (2010) analizi, Crookes'un bile başlangıçta bu ayrımı net yapamadığını ve gözlemlerini hatalı bir modele (ışık basıncı) oturttüğünü göstererek, bilim insanlarının da "teori yüklü gözlem" sürecinden muaf olmadığını ve gözlemlerin araştırmacının beklentileriyle şekillenebileceğini ortaya koyar.

Gözlem ve çıkarım arasındaki bu gerilim, bilimsel ilerlemenin ancak deney ve kuramın karşılıklı ve döngüsel etkileşimiyle mümkün olduğunu gösterir. Radyometre örneğinde, Crookes'un deneyleri kuramsal bir arayışı tetiklemiş; Maxwell'in matematiksel "termal stres" kuramı ve Reynolds'un "termal transpirasyon" deneyleri ise bu olguyu açıklamıştır (Reynolds, 1879). Bu süreç, deneyin tek başına yeterli olmadığını, verilerin ancak bir kuramsal çerçeve (model) ile anlam kazandığını kanıtlar. Ayrıca, radyometre için tarih boyunca önerilen ışıık basıncı, termal transpirasyon ve günümüzdeki Transimpact gibi çok sayıda model, bilimin tek bir "doğru" açıklama sunmadığını gösterir. Farklı modellerin olguyu farklı başarı düzeylerinde temsil etmesi (Ketsdever, Gimelshein, Gimelshein, & Selden, 2012), bilimsel ilerlemenin en güçlü açıklama gücüne sahip modelin seçilmesiyle gerçekleşen bir süreç olduğunu doğrular.

Radyometre üzerine yürütölen bu yoğun kuramsal ve deneysel tartışmalar, nihayetinde 19. yüzyıl fiziğinde çok daha köklü bir zihinsel dönüşümün, yani bir paradigma değişiminin habercisi olmuştur. Radyometre, gazların "sürekli bir ortam" olduğu varsayımından, "moleküler/tane" yapıda olduğunun kabul edildiği istatistiksel paradigmaya geçişin simgesidir. Reynolds'un "gaz sürekli bir ortam değildir" vurgusu, dönemin hakim anlayışına bir meydan okuma niteliğindedir (Reynolds, 1879). Bu bağlamda radyometre, makroskobik bir olgunun (dönme) ancak mikroskobik süreçlerle (moleküler kinetik) açıklanabildiği modern fizik anlayışının inşasında, Wess'in (2010) ifadesiyle "bir düşünce zincirinin somutlaşmış hâli" olarak epistemolojik bir dönüm noktasını temsil eder (Wess, 2010).

Crookes Radyometresi ile Kavramsal Yanılgılar ve Kavramsal Değişim Süreci

Crookes radyometresi, fizik öğretiminde kavramsal yanılgıların hem en doğal biçimde ortaya çıktığı hem de uygun öğretim stratejileriyle en etkili biçimde bilimsel modellere dönüştürülebildiği ender ve özgün deney düzeneklerinden biridir. Radyometrenin bu eşsiz pedagojik potansiyelinin temel nedeni, gözlemlenen dönme hareketinin günlük sezgilerle, önceki fizik bilgileriyle ve hatta sağduyuyla son derece "makul" görünen; ancak fiziksel gerçeklik açısından tamamen yanlış olan açıklamalara güçlü bir zemin hazırlamasıdır. Öğrenciler, radyometrenin dönme hareketini ilk gördüklerinde zihinlerinde hızla sezgisel modeller kurarlar ve bu modeller genellikle bilimsel gerçeklerle çelişir. İşte tam bu noktada, kavramsal değişim süreci devreye girer. Kavramsal değişim, öğrencilerin yalnızca mevcut bilgi dağarcıklarına yeni bilgiler eklemelerini değil; aynı zamanda var olan bilgi yapılarını, zihinsel modellerini ve açıklama biçimlerini yeniden düzenlemelerini, hatta kimi zaman kökten dönüştürmelerini gerektiren derin bir bilişsel süreçtir (Posner, Strike, Hewson, & Wertzog, 1982; Duit & Treagust, 2003).

Radyometre ile ilk kez karşılaşan öğrencilerin büyük çoğunluğu, kanatların ışık altında dönmesini "ışık bir kuvvettir, yüzeye çarpar ve iter" mantığıyla açıklar. Bu düşünce ilk bakışta son derece makul ve tutarlıdır; çünkü öğrenciler ışığın enerji taşıdığını, yüzeyleri ısıttığını ve bir etki yarattığını bilmektedirler. Ancak bu sezgisel çıkarım, radyometrenin fiziksel çalışma prensibiyle temelden bir çelişki yaratır. Eğer dönme hareketi gerçekten ışık basıncından kaynaklansaydı, fizik yasaları gereği yansıtıcı (parlak) yüzeyin fotonları geri yansıtması nedeniyle daha büyük bir momentum transferine maruz kalması ve siyah yüzeyden daha hızlı itilmesi gerekirdi. Oysa deneysel gözlemler, her zaman siyah yüzeyin geri çekildiğini, yani siyah yüzeyin itildiğini göstermektedir

(Crookes, 1874). Buna ek olarak, ışık basıncı etkisinin yüksek vakumda artması beklenirken, Crookes radyometresinde yüksek vakumda dönme hareketinin tamamen ortadan kalkması (Ketsdever, Gimelshein, Gimelshein, & Selden, 2012), ışık basıncı açıklamasının deneysel olarak yanlışlanabilir olduğunu açık biçimde kanıtlamaktadır. Posner ve arkadaşlarının (1982) kavramsal değişim kuramına göre, bireyin mevcut açıklamasının (ışık iter) yetersiz kaldığını fark etmesi, yani "doyumsuzluk" yaşaması, dönüşüm sürecinin ilk ve en kritik zorunlu aşamasıdır.

Bu doyumsuzluk ve yetersizlik hissi, öğrencilerin enerji, momentum ve kuvvet kavramlarını birbirine karıştırdığı diğer yanlışları da tetikler ve görünür kılar. Öğrenciler sıklıkla "Işık çok enerjik olduğu için daha çok döndürür" veya "Daha parlak ışık daha büyük kuvvet uygular" gibi ifadelerle, enerjiyi doğrudan bir kuvvet gibi algılama eğilimindedirler. Bu durum, ışığın "itici bir madde" olarak algılandığı ontolojik bir kategori hatasına işaret eder (Chi, 2008). Oysa Maxwell (1879) ve Reynolds (1879) tarafından geliştirilen kuramsal çerçeve, radyometredeki mekanik hareketin doğrudan foton momentumu ile değil, moleküler ölçekteki momentum taşınımı ve gaz moleküllerinin sıcaklık farkına verdiği kinetik tepki ile oluştuğunu net biçimde ortaya koymuştur. Meltzer'in (2004) çalışmaları da öğrencilerin ısı, iş ve enerji kavramlarını sıklıkla eş anlamlı kullandığını ve bu kavramlar arasındaki nedensel ilişkileri kurmakta zorlandığını göstermektedir (Meltzer, 2004).

Bu bağlamda ortaya çıkan bir diğer yaygın ve güçlü sezgisel yanlış, öğrencilerin ışığın parlaklığını (görünür şiddeti) doğrudan mekanik etkiyle özdeşleştirmesidir: "Daha parlak ışık, daha güçlü döndürür." Oysa Ketsdever ve arkadaşlarının (2012) detaylandığı üzere, radyometrik kuvvetler foton basıncından ziyade yüzeydeki sıcaklık farklarından (termal transpirasyon) beslenir. Bu teorik altyapının pratik ve şaşırtıcı bir sonucu olarak; kızılötesi (IR)

bileşeni yüksek olan bir akkor lamba, görünür parlaklığı çok daha yüksek olsa bile ısı etkisi düşük olan bir LED ışık kaynağına kıyasla radyometreyi çok daha güçlü biçimde döndürür. Bu fiziksel gerçeklik, mekanik etkinin doğrudan "parlaklıktan" değil, soğurulan enerji ve oluşan sıcaklık gradyentinden kaynaklandığını somut bir şekilde gösterir. Duit ve Treagust'un (2003) belirttiği gibi, bu tür sezgisel genellemeler, öğrencilerin günlük deneyimlerinden taşıdıkları ancak bilimsel bağlamda geçersiz olan bilişsel şemaların sorgulanmasını sağlar.

Kavramsal değişimin en kritik ve zorlu aşamalarından biri de, öğrencilerin gazı yalnızca ışığın geçtiği pasif, etkisiz bir ortam olarak görme yanılgısının kırılmasıdır. Öğrenciler genellikle asıl işi ışığın yaptığını, gazın ise sadece orada bulunduğunu düşünürler. Ancak çok yüksek vakumda gaz moleküllerinin sayısının azalmasıyla birlikte dönme hareketinin de durması (Ketsdever, Gimelshein, Gimelshein, & Selden, 2012), gaz moleküllerinin hareketin aktif, zorunlu ve kurucu bir bileşeni olduğunu kanıtlar. Hashweh (1986), bu tür köklü ve yapısal yanılgıların, yalnızca yeni bilgi eklenerek değil, ancak mevcut bilişsel yapının ve nedensellik algısının yeniden düzenlenmesiyle değiştirilebileceğini vurgular (Hashweh, 1986). Bu yeniden düzenleme ihtiyacı, radyometrenin soğutulduğunda ters yöne dönmesiyle (ters dönme olgusu) zirveye ulaşır. Radyometrenin ani biçimde çok soğuk bir ortama alınmasıyla kısa süreli ters dönme gözlenmesi, sezgisel "ışıkla dönen aygıt" açıklamasının yetersizliğini açık biçimde ortaya koyan güçlü bir anomalidir. Bu davranış, termal transpirasyon çerçevesinde sıcaklık gradyentinin geçici olarak yön değiştirmesi ve siyah yüzeyin daha hızlı soğuması ile tutarlı biçimde açıklanabilmektedir. Larsson ve Halldén'in (2010) genel kavramsal değişim teorisinde belirttikleri gibi; bu tür anomaliler ve çelişkiler, öğrencilerin yalnızca eski modelden vazgeçmelerini değil, bağlamı kökten yeniden

yapılandırarak yeni ve daha derin bir modeli (kinetik teori) benimsemelerini sağlar (Larsson & Halldén, 2010).

Sonuç olarak Crookes radyometresi, Posner ve arkadaşlarının (1982) kavramsal değişim için öngördüğü dört temel koşulu da eksiksiz bir şekilde yerine getirir: Işık basıncı açıklaması deneysel olarak yetersiz kalır ve doyumsuzluk yaratır; gaz kinetiği açıklaması basit deneylerle anlaşılır hâle gelir; basınç, IR ışık ve ters dönme gibi farklı olgular aynı modelle tutarlı biçimde açıklanabildiği için yeni model akla yatkın gelir; ve son olarak model, yeni deneysel öngörüler üretmekten üretilenliğini kanıtlar. Bu süreç, radyometrenin sadece fiziksel bir olgu olmadığını, aynı zamanda zihinsel modellerin dönüşümü ve bilimsel düşünmenin gelişimi için güçlü bir pedagojik araç olduğunu gösterir.

Kavramsal Değişim Sürecinin Bilimin Doğası (NoS) Açısından Değerlendirilmesi

Crookes radyometresi üzerinden yürütülen kavramsal değişim süreci, yalnızca öğrencilerin yanlış fizik kavramlarını düzeltmekle kalmamakta; aynı zamanda bilimin doğasına ilişkin temel epistemolojik özelliklerin de doğrudan deneyimlenmesini sağlamaktadır. Bu bağlamda, radyometrenin tarihsel gelişimi ve bilimsel açıklamalarının evrimi, NoS öğretiminin en kritik boyutlarından biri olan "bilimsel bilginin geçiciliği" ilkesini somutlaştırır. Lederman'ın (2006) vurguladığı gibi, bilimsel bilgi kesin ve değişmez doğrular bütünü değil, yeni kanıtlar karşısında revize edilebilir modeller sistemidir (Lederman, 2006). Crookes radyometresinde ışık basıncı temelli ilk açıklamanın, daha sonra Reynolds–Maxwell hattındaki kinetik açıklamalarla yer değiştirmesi, bu tentatif (geçici) yapının doğrudan tarihsel bir kanıttır. Öğrencilerin başlangıçta doğru sandıkları "ışık iter" modelini terk etmeleri, bilimin mutlak kesinlik değil, yaklaşık doğruluk ürettiğini kavramalarına güçlü bir zemin hazırlar.

Bu tarihsel dönüşüm süreci, aynı zamanda bilimsel gözlemlerin doğasına dair derin bir epistemolojik kavrayış sunar. Radyometrede gözlenen "kanatların dönmesi" olgusu ile bu dönmenin nedeni olan "moleküler momentum aktarımı" arasındaki ilişki, gözlem ile çıkarım arasındaki kritik farkı ortaya koyar. Bilimin doğası literatüründe gözlemlerin "teori yüklü" olduğu ve çıkarımların gözlemcinin ön bilgileriyle şekillendiği bilinmektedir. Tarihsel olarak Sir William Crookes da, önceki talyum deneylerinden edindiği "sıcak cisimlerin itildiği" yönündeki ön kabulüyle (teori yüklü gözlem) radyometreye yaklaştığı için, dönme hareketini başlangıçta hatalı bir biçimde "radyasyonun itişisi" olarak yorumlamıştır. Benzer şekilde öğrenciler de "ışık iter" sezgisel teorisiyle baktıkları sürece, radyometredeki dönme hareketini bu hatalı teorinin bir kanıtı olarak görme eğilimindedirler. Bu bağlamda, radyometredeki ilk çıkarımın deneysel kanıtlarla yanlışlanması süreci, öğrencilere bilimsel çıkarımların mutlak olmadığını ve gözlemcinin bakış açısından etkilenebileceğini doğrudan deneyimleme fırsatı sunar.

Gözlem ve çıkarım arasındaki bu gerilim, bilimsel ilerlemenin doğasına dair daha geniş bir çerçeveye, yani Thomas Kuhn'un paradigma ve anomali kavramlarına bağlanır. Kuhn'a (1970) göre bilimsel ilerleme, mevcut paradigmanın açıklayamadığı "anomalilerin" birikmesi ve bunun yarattığı krizin yeni bir bakış açısıyla aşılmasıyla gerçekleşir (Kuhn, 1970). Crookes radyometresinde, dönemin hâkim elektromanyetik kuramı (ışık basıncı), yansıtıcı yüzeyin daha fazla itilmesini öngörürken; deneysel gözlem tam tersini, yani siyah yüzeyin geri çekildiğini göstermiştir. Bu "anomali", ışık basıncı modelini çökertmiş ve krizi çözmek için Reynolds ve Maxwell'in geliştirdiği kinetik teoriye ihtiyaç duyulmuştur. Bu süreç, fizikte gazların "sürekli bir ortam" olduğu varsayımından, "moleküler ve istatistiksel" bir yapıya sahip

olduğu anlayışına geçişi temsil eden mikro ölçekte bir paradigma değişimidir.

Bu paradigma değişimi, bilimsel modellerin doğasını ve sınırlarını da tartışmaya açar. Bilimsel modeller, gerçeğin birebir kopyaları değil; olguları açıklamak için geliştirilen işlevsel temsillerdir. Radyometrede moleküler hız dağılımları ve termal transpirasyon gibi doğrudan gözlemlenemeyen süreçler modellerle temsil edilir. Ancak daha da önemlisi, 'Termal Transpirasyon' modelinin düşük basınçta (Knudsen rejimi) başarılı çalışırken, yüksek basınçta (sürekli ortam rejimi) işlevsiz kalması, öğrencilere modellerin evrensel doğrular değil, belirli sınırlar (boundary conditions) dahilinde geçerli araçlar olduğunu öğretir.

Son olarak, radyometrenin tarihsel serüveni, bilimin yalnızca bireysel bir zihinsel çaba değil, aynı zamanda toplumsal bir inşa süreci olduğunu gösterir. Allchin (2011), bilimin; uzmanlık, tartışma kültürü, yayın süreçleri, hataların analizi ve akran değerlendirmesi gibi sosyal boyutları da içerdiğini vurgular (Allchin, 2011). Radyometre tarihinde, Maxwell'in Reynolds'un çalışmasını hakem olarak inceleyip matematiksel temellerini güçlendirmesi veya Schuster'ın deneyinin bilim camiasındaki tartışmaları sonlandırması (Woodruff, 1966), bilimin bu kolektif ve denetleyici doğasını yansıtır. Bu bağlamda radyometre, yalnızca fiziksel bir aygıt değil; hataların nasıl ayıklandığını ve bilimsel bilginin toplumsal olarak nasıl inşa edilip denetlendiğini (validasyon) gösteren bütüncül bir "Whole Science" örneğidir. Sonuç olarak Crookes radyometresinin öğretimsel kullanımı; bilimsel bilginin geçiciliği, yanlışlanabilirliği, model temelli yapısı ve toplumsal boyutu gibi NoS kazanımlarını kavramsal değişim süreciyle eş zamanlı olarak kazandıran üst düzey bir epistemolojik bağlam sunmaktadır.

Sorgulamaya Dayalı Öğrenme (Inquiry-Based Learning, IBL) Temelli Uygulama Senaryosu: Crookes Radyometresi

Crookes radyometresi, eğitim ortamlarında öğrencilerin yalnızca pasif birer gözlemci olmalarının ötesine geçerek; soru üretme, hipotez kurma, değişkenleri kontrol etme, kanıt üretme ve model temelli açıklamalar geliştirme süreçlerini bizzat yönettikleri güçlü bir sorgulamaya dayalı öğrenme (IBL) ortamı sunmaktadır. Ulusal ve uluslararası standartlar, sorgulamayı bilim öğrenmenin merkezine yerleştirmekte ve öğrencilerin bilimi bizzat yaparak ve yaşayarak öğrenmelerini temel ilke olarak tanımlamaktadır (National Research Council [NRC], 2000). Bu doğrultuda hazırlanan uygulama senaryosu, yapılandırmacı yaklaşımın en yaygın modellerinden biri olan 5E Öğretim Modeli (Giriş, Keşfetme, Açıklama, Derinleştirme, Değerlendirme) temel alınarak kurgulanmıştır (Bybee, ve diğerleri, 2006). Ayrıca bu yapı, Pedaste ve arkadaşlarının (2015) sentezlediği; yönelim, kavramsallaştırma, araştırma, sonuç ve tartışma evrelerinden oluşan bütüncül sorgulama döngüsüyle de tam bir uyum içerisinde (Pedaste, ve diğerleri, 2015).

Görsel 4 5E Öğretim Modeli



Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Uygulama süreci, öğretmenin Crookes radyometresini sınıfa getirerek, herhangi bir açıklama yapmadan yalnızca bir ışık kaynağı altında çalıştırmasıyla başlatılır. Bu ilk aşamada (Giriş/Yönelim), öğrencilerin ilgisini çekmek ve zihinlerinde var olan, özellikle "bu aletin pille veya elektrikle çalıştığına" dair ön kavramları açığa çıkarmak hedeflenir. Öğrencilere, "Bu düzenekte pil veya kablo var mı?" gibi kapalı uçlu sorular yerine; "Sizce bu düzenek hareket enerjisini nereden alıyor olabilir?" veya "Gördüğünüz bu dönme hareketini başlatan etki nedir?" gibi düşündürücü sorular yöneltilir. Bu strateji, 5E modeline göre öğrencilerin bilişsel olarak etkinleştirilmesini sağlarken, Pedaste ve arkadaşlarının (2015) tanımladığı "Yönelim" (Orientation) evresindeki epistemik merakı tetikleme işlevini yerine getirir.

Merakın eyleme dönüştüğü bir sonraki aşamada (Keşfetme/Araştırma), öğrenciler pasif dinleyici konumundan çıkarak aktif araştırmacı rolünü üstlenirler. Yönlendirilmiş fakat açık uçlu deneylerle radyometrenin davranışı farklı koşullar altında sistematik olarak incelenir. Öğrenciler; el feneri kullanarak ışık

şiddetinin etkisini, saç kurutma makinesi ile ışık olmadan sadece ısıнын etkisini ve buz torbası kullanarak soğutma durumunda meydana gelen ters dönme hareketini gözlemlerler. Bu süreçte öğrenciler, bağımsız değişkenler (ışık şiddeti, sıcaklık) ile bağımlı değişkenler (dönme hızı, yönü) arasındaki ilişkileri, öğretmenin anlatımıyla değil, doğrudan kendi deneyimleriyle keşfederler. Sorgulama temelli öğretimin bu şekilde yapılandırılmasının, öğrencilerin veriye dayalı düşünme becerilerini belirgin biçimde güçlendirdiği, literatürdeki geniş ölçekli sentez çalışmalarıyla da desteklenmektedir (Minner, Levy, & Century, 2010).

Elde edilen verilerin anlamlandırıldığı açıklama (Explain/Kavramsallaştırma) aşamasında, öğrenciler özellikle soğutma sırasında gerçekleşen ters dönme olgusunu açıklamakta zorlanarak bir bilişsel dengesizlik yaşarlar. Başlangıçta çoğu öğrenci, dönme hareketini "ışığın mekanik itmesi" veya "ışık rüzgarı" gibi sezgisel modellerle açıklamaya çalışır. Ancak öğretmen bu noktada doğrudan doğru cevabı vermek yerine, rehberli sorgulama yöntemini kullanır. "Eğer ışık bir rüzgar gibi itiyorsa, ışık kaynağı kapatılıp ortam soğutulduğunda pervane neden ters yöne dönüyor?" gibi sorularla öğrencilerin kendi modellerinin yetersizliğini fark etmeleri (refutation) sağlanır. Bu süreç, öğrencilerin gaz moleküllerinin davranışı üzerine düşüncelerini ve bilimsel açıklamaların kanıta dayalı olarak revize edildiğini deneyimlemelerini sağlar (National Research Council [NRC], 2000).

Kavramsal altyapının oluşmasının ardından, derinleştirme (Elaborate) aşamasına geçilerek radyometre nitel bir gözlem aracı olmaktan çıkarılıp nicel veri üreten bir laboratuvar aletine dönüştürülür. Öğrenciler, akıllı telefonlarının yüksek hızlı kamera özelliklerini kullanarak dönme hareketini kaydeder ve Tracker benzeri video analiz yazılımları aracılığıyla pervanenin açısal hızını ve periyodunu hesaplarlar. Işık şiddeti ile dönme hızı arasındaki

ilişkinin grafikler üzerinde analiz edilmesi, sorgulama temelli öğrenmenin teknoloji ile entegre edildiğinde bilimsel süreç becerilerini nasıl üst düzeye taşıdığının somut bir göstergesidir (Pedaste, ve diğerleri, 2015; Minner, Levy, & Century, 2010).

Sürecin son aşaması olan değerlendirme (Evaluate/Tartışma) kısmında ise öğrenciler; başlangıçta öne sürdükleri hipotezleri, deneysel bulgular ışığında nasıl değiştirdiklerini ve neden "ışık basıncı" modelini terk edip "termal etkileşim" modelini kabul ettiklerini tartışırlar. Bu aşama, öğrencilerin yalnızca fiziksel kavramların doğruluğuna odaklanmalarını değil; aynı zamanda bilginin geçiciliğine, modellerin sınanabilirliğine ve bilimin argümantatif yapısına dair derin bir epistemolojik farkındalık geliştirmelerini sağlar (National Research Council [NRC], 2000). Genel bir değerlendirme yapıldığında, bu IBL temelli uygulama; Crookes radyometresinin kavramsal değişimi başlatan bir anomali aracı, model temelli öğrenmenin uygulandığı bir deney ortamı ve bilimin doğasını görünür kılan epistemolojik bir bağlam olarak işlev gördüğünü kanıtlamaktadır.

Aynı zamanda yapı, sorgulama sürecinin yönelim, kavramsallaştırma, araştırma, sonuç ve tartışma evrelerinden oluştuğunu ortaya koyan bütüncül sorgulama döngüsüyle de tam uyumludur (Pedaste, ve diğerleri, 2015).

Giriş – Yönelim (Engage / Orientation)

Uygulama süreci, öğretmenin Crookes radyometresini sınıfa getirerek yalnızca bir ışık kaynağı altında çalıştırmasıyla başlatılır. Aygıtın herhangi bir elektrik kaynağına bağlı olmadığı özellikle vurgulanır. Öğrencilere şu sorular yöneltilir:

- “Sizce bu alet çalışmak için ne tür bir enerjiye ihtiyaç duyuyor olabilir?”
- “Sizce bu dönmeyi hangi etki oluşturuyor?”

Bu aşama, öğrencilerin ön bilgilerini ve sezgisel açıklamalarını açığa çıkarmayı hedefler. 5E modeline göre bu evre, öğrencilerin bilişsel olarak etkinleştirilmesini ve öğrenmeye yönelik epistemik merakın oluşmasını sağlar (Bybee, ve diğerleri, 2006). Aynı zamanda Pedaste ve arkadaşlarının (2015) tanımladığı Orientation evresine doğrudan karşılık gelmektedir.

Keşfetme – Araştırma (Explore / Investigation)

Bu aşamada öğrenciler, yönlendirilmiş fakat açık uçlu deneylerle radyometrenin davranışını farklı koşullar altında sistematik olarak gözlemler:

- El feneri uygulaması: Işık şiddeti artırıldığında dönme hızındaki değişim incelenir.
- Saç kurutma makinesi ile ısı uygulaması: Işık olmadan yalnızca ısı etkisi test edilir.
- Soğutma (buz torbası): Cam yüzey soğutulduğunda ters yönde dönme gözlemlenir.

Bu aşamada öğrenciler, bağımsız değişken (ışık şiddeti, sıcaklık), bağımlı değişken (dönme hızı) ve kontrol edilen değişkenler (ortam basıncı, kanat yapısı) arasındaki ilişkileri fiilen deneyimler. Sorgulama temelli öğretimin, özellikle öğrencilerin veriye dayalı düşünme becerilerini güçlendirdiği, geniş ölçekli sentez çalışmalarla açık biçimde ortaya konmuştur (Minner, Levy, & Century, 2010).

Açıklama – Kavramsallaştırma (Explain / Conceptualization)

Öğrenciler bu aşamada özellikle ters yönde dönme olgusunu açıklamaya çalışırlar. Başlangıçta çoğu öğrenci açıklamasını:

- ışığın, doğrudan mekanik itmesi,
- ışığın, enerji taşıyan bir rüzgâr gibi itmesi

şeklinde kurar. Öğretmen, bu açıklamaları doğrudan düzeltmek yerine rehberli sorgulama yoluyla öğrencilerin kendi modellerini test etmelerini sağlar. Böylece öğrenciler, bilimsel açıklamaların kanıta dayalı olarak revize edildiğini deneyimleyerek öğrenirler (National Research Council [NRC], 2000).

Bu aşama, 5E modelinde kavramsal inşanın gerçekleştiği temel evre olup öğretmenin bilimsel modeli doğru zamanda ve doğru gerekçeyle yapılandırmasına olanak tanır (Bybee, ve diğerleri, 2006).

Derinleştirme – Genişletme (Elaborate)

Bu evrede radyometre yalnızca nitel bir gösteri olmaktan çıkarılıp nicel veri üretilen bir deney sistemine dönüştürülür. Öğrenciler:

- akıllı telefon videoları ile dönme hareketini kaydeder,
- tracker benzeri yazılımlarla açısal hız ve periyot hesaplar,
- ışık şiddeti–dönme hızı ilişkisini grafik üzerinde analiz eder.

Bu süreç, sorgulama temelli öğrenmenin teknoloji destekli uygulamalarla birleştiğinde bilimsel düşünme becerilerini belirgin biçimde güçlendirdiğini gösteren sonuçlarla tutarlıdır (Pedaste, ve diğerleri, 2015; Minner, Levy, & Century, 2010).

Değerlendirme – Tartışma (Evaluate / Discussion)

Son aşamada öğrencilerden:

- başlangıçta öne sürdükleri hipotezleri,
- deneysel bulgularla nasıl revize ettiklerini,
- hangi modelin hangi koşullarda geçerli olduğunu

yazılı ve sözlü olarak tartışmaları istenir. Bu aşama, öğrencilerin yalnızca kavramsal doğruluğa değil; aynı zamanda bilginin geçiciliğine, modellerin sınanabilirliğine ve bilimin argümantatif yapısına dair epistemolojik farkındalık geliştirmelerini sağlar (National Research Council [NRC], 2000).

Genel Değerlendirme

Bu IBL temelli uygulama, Crookes radyometresinin aynı anda:

- kavramsal değişimi başlatan bir anomali üretme aracı,
- model temelli öğrenmenin doğrudan uygulandığı bir deney ortamı,
- bilimin doğasını görünür kılan epistemolojik bir bağlam

işlevlerini yerine getirdiğini ortaya koymaktadır. Sorgulamaya dayalı öğretimin, öğrencilerin kavramsal öğrenmeleri üzerinde pozitif ve güçlü bir etkiye sahip olduğu, kapsamlı sentez çalışmalarıyla da desteklenmektedir (Minner, Levy, & Century, 2010).

Sonuç ve Fizik Eğitime Yönelik Çıkarımlar

Bu çalışmada Crookes radyometresi; tarihsel gelişimi, fiziksel çalışma mekanizması, kavramsal yanılgıların doğası, bilimin doğası (NoS) ve model temelli öğrenme boyutlarıyla bütüncül bir çerçeve içinde ele alınmıştır. Bu çok katmanlı yapı, radyometrenin yalnızca basit bir gösteri deneyi olmadığını; aksine üst düzey bilişsel, epistemolojik ve bilimsel muhakeme becerilerinin geliştirilmesini sağlayan özgün ve zengin bir öğretim bağlamı sunduğunu ortaya koymaktadır. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular ilk olarak, Crookes radyometresinin kavramsal değişim kuramının merkezinde yer alan doyumsuzluk, anlaşılabilirlik, akla yatkınlık ve üretkenlik koşullarını (Posner, Strike, Hewson, &

Wertzog, 1982) doğal bir biçimde harekete geçirdiğini göstermektedir. Öğrenciler, "ışık iter" gibi sezgisel açıklamalarının; siyah-beyaz yüzey asimetrisi, yüksek vakumda dönmenin ortadan kalkması ve ters dönme olgusu gibi deneysel bulgular karşısında yetersiz kaldığını doğrudan gözlemlemektedir. Bu süreç, Hashweh'in (1986) vurguladığı biçimiyle yalnızca bilgi eklemeyi değil, bilişsel yapının yeniden örgütlenmesini zorunlu kılmaktadır. Dolayısıyla radyometre üzerinden yürütülen kavramsal değişim, yüzeysel bir bilgi güncellemesi olmaktan çıkarak derin yapısal bir dönüşüm hâline gelmektedir (Chi, 2008; Duit & Treagust, 2003).

Kavramsal değişimin bu yapısal boyutunun yanı sıra, radyometrik mekanizmanın incelenmesi; öğrencilerin ısı, enerji, sıcaklık ve iş kavramlarına yönelik yaygın yanılgılarını açığa çıkarmakta ve gidermektedir. Öğrencilerin ışığı "mekanik itici" gibi algılaması, parlaklığı doğrudan kuvvetle özdeşleştirmesi veya gazı pasif bir ortam sanması şeklindeki sezgisel düşünme biçimleri; termodinamik ve gaz kinetiği alanında rapor edilen öğrenci yanılgılarıyla örtüşmektedir (Meltzer, 2004; Lewis & Linn, 1994; Loverude, Kautz, & Heron, 2002; Christensen, Meltzer, & Ogilvie, 2009). Bu bağlamda Crookes radyometresi, makroskobik dönme hareketi ile mikroskobik moleküler hareketi aynı deney düzeneğinde birleştirerek öğrencilerin istatistiksel-mekanik düşünmeye geçişini somutlaştırmaktadır. Böylece radyometre, yalnızca bir termodinamik uygulaması olmanın ötesine geçerek, mikro-makro bağının öğretiminde kilit bir kavramsal köprü işlevi görmektedir.

Termodinamik süreçlerin anlaşılmasında kritik rol oynayan bu zihinsel geçişler, model temelli öğrenme süreçleriyle desteklenmektedir. Radyometreye yönelik ışık basıncı, termal transpirasyon ve Maxwell-Reynolds kinetik modelleri gibi çoklu açıklamaların incelenmesi, Hestenes'in (1987) işaret ettiği gibi fizik öğretiminin merkezinde yer alması gereken modelleme sürecini doğrudan yansıtır (Hestenes, 1987). Schwarz ve arkadaşlarının

(2009) tanımladığı modelleme öğrenme ilerlemeleri (Schwarz, ve diğerleri, 2009) açısından bakıldığında öğrenciler; açıklayıcı model kurma, modeli deneyle sınıma, alternatif modellerle karşılaştırma ve modeli yeni olgulara uyarlama basamaklarının tamamını radyometre etkinlikleri üzerinden eş zamanlı olarak işletme fırsatı bulurlar. Modelleme sürecinin bu dinamik yapısı, kaçınılmaz olarak bilimsel akıl yürütme becerilerini de tetiklemektedir. Lawson'a (2004) göre bilimsel düşünmenin temeli olan hipotetik-tümdengelsel (HD) muhakeme (Lawson, 2004); radyometre bağlamında ışık şiddeti, ışık türü (IR-görünür), gaz basıncı ve yüzey rengi gibi değişkenlerin sistematik biçimde kontrol edilmesi ve karşılaştırılmasıyla fiilen uygulanmaktadır. Bu yönüyle radyometre, kavramsal bir öğretim aracı olmanın yanı sıra, bilimsel düşünmenin yapısal bileşenlerini işleten bir laboratuvar ortamına dönüşmektedir.

Bilimsel akıl yürütme ve modelleme becerilerinin bu denli işlevsel kullanıldığı bir bağlam, aynı zamanda bilimin doğasına (NoS) ilişkin temel unsurları da görünür kılmaktadır. Radyometrenin tarihsel ve deneysel analizi; bilimsel bilginin geçici olduğu (Lederman, 2006), modellerin yanlışlanabilir olduğu (Kuhn, 1970), bilimsel açıklamaların model temelli ilerlediği (McComas, Almazroa, & Clough, 1998) ve bilimin toplumsal bir tartışma süreci olduğu (Allchin, 2011) gerçeğini somutlaştırmaktadır. Böylece öğrenciler bilimi "ezberlenmiş doğrular bütünü" olarak değil; kanıta dayalı, tartışmalı ve revizyona açık bir bilgi üretim süreci olarak anlamlandırmaktadır.

Sonuç olarak bu çalışmadan elde edilen pedagojik çıkarımlar, Crookes radyometresinin; kavramsal değişim, NoS, model temelli öğrenme ve bilimsel akıl yürütmeyi bütünleştiren nadir deney düzeneklerinden biri olduğunu göstermektedir. Yanlış modellerin bilinçli olarak öğretim sürecine sokulmasının kavramsal değişimi hızlandırdığı (Posner, Strike, Hewson, & Wertzog, 1982), makroskobik hareket ile mikroskobik süreçler arasındaki ilişkinin

somutlaştığı ve termodinamik ile gaz kinetiğı konularının salt matematiksel formölasyonlardan çıkarak anlam temelli bir öğrenme sürecine dönüştüğü görölmüştür. Bu çerçevede, alternatif modellerin karşılaştırılması ve dönüştürölmesi süreci, öğrencilerin eleştirel bilim okuryazarlığını doğrudan destekleyen güçlü bir pedagojik strateji olarak öne çıkmaktadır.

Kaynakça

Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education*, 95(3), s. 518–542. doi:<https://doi.org/10.1002/sce.20432>

Brüche, E., & Littwin, W. (1929). Experimentelle Beiträge zur Radiometerfrage. *Zeitschrift für Physik*, 52, s. 318–333. doi:<https://doi.org/10.1007/BF01339422>

Bybee, R., Taylor, J. A., Gardner, A., Scotter, P. V., Powell, J., Westbrook, A. L., & Landes, N. M. (2006). *The BSCS 5E instructional model: Origins, effectiveness, and applications*. BSCS. https://www.researchgate.net/publication/242363914_The_BSCS_5E_Instructional_Model_Origins_Effectiveness_and_Applications adresinden alındı

Chi, M. T. (2008). Three types of conceptual change: Belief revision, mental model transformation. S. Vosniadou içinde, *International handbook of research on conceptual change* (s. 61-82). Routledge.

Christensen, W. M., Meltzer, D. E., & Ogilvie, C. A. (2009). Student ideas regarding entropy and the second law of thermodynamics in an introductory physics course. *American Journal of Physics*, 77(10), s. 907-917. doi:<https://doi.org/10.1119/1.3167357>

Crookes, W. (1874). XV. On attraction and repulsion resulting from radiation. *Philosophical transactions of the Royal society of London*, 164, s. 501-527.

Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), s. 671–688. doi:<https://doi.org/10.1080/09500690305016>

Einstein, A. (1924). Zur Theorie der Radiometerkräfte. *Zeitschrift für Physik*, 27(1), s. 1-6.
doi:<https://doi.org/10.1007/BF01328006>

Hashweh, M. Z. (1986). Toward an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8(3), s. 229–249.
doi:<https://doi.org/10.1080/0140528860080301>

Hestenes, D. (1987). Toward a modeling theory of physics instruction. *American Journal of Physics*, 55(5), s. 440-454.
doi:<https://doi.org/10.1119/1.15129>

Ketsdever, A., Gimelshein, N., Gimelshein, S., & Selden, N. (2012). Radiometric phenomena: From the 19th to the 21st century. *Vacuum*, 86(11), s. 1644-1662.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2012.02.006>

Kuhn, T. S. (1970). *The structure of scientific revolutions* (2 b.). University of Chicago Press.

Kurt, H. S., & Topçu, M. S. (2019). Fizik Eğitiminde Bir STEM Etkinliği Tasarımı: *Temel Eğitim Dergisi / Journal of Primary Education*, 1(3), s. 11-16.

Larsson, Å., & Halldén, O. (2010). A structural view on the emergence of a conception: Conceptual change as radical reconstruction of contexts. 94(4), s. 640–664.
doi:<https://doi.org/10.1002/sce.20377>

Lawson, A. E. (2004). The Nature and Development of Scientific Reasoning: A Synthetic View. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(3), s. 307–338.
doi:<https://doi.org/10.1007/s10763-004-3224-2>

Lederman, N. G. (2006). Nature of science: Past, present, and future. S. K. Lederman içinde, *Handbook of research on science education*. Lawrence Erlbaum.

Lewis, E. L., & Linn, M. C. (1994). Heat energy and temperature concepts of adolescents, adults, and experts: Implications for curricular improvements. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(6), s. 657–677. doi:<https://doi.org/10.1002/tea.3660310607>

Liu, J. Z. (2019). The Process Driving Crookes Radiometers. [PrePrint]. Kasım 30, 2025 tarihinde <https://xenon.stanford.edu/~zjl/mill.html> adresinden alındı

Loverude, M. E., Kautz, C. H., & Heron, P. R. (2002). Student understanding of the first law of thermodynamics: Relating work to the adiabatic compression of an ideal gas. *American Journal of Physics*, 70(2), s. 137–148. doi:<https://doi.org/10.1119/1.1417532>

Maxwell, J. C. (1879). On stresses in rarefied gases arising from inequalities of temperature. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 170, s. 231–256. doi:<https://doi.org/10.1098/rstl.1879.0067>

McComas, W. F., Almazroa, H., & Clough, M. P. (1998). The Nature of Science in Science Education: An Introduction. *Science & Education*, 7(6), s. 511-532. doi:<https://doi.org/10.1023/A:1008642510402>

Meltzer, D. E. (2004). Investigation of students' reasoning regarding heat, work, and the first law of thermodynamics in an introductory calculus-based general physics course. *American Journal of Physics*, 72(11), s. 1432–1446. doi:<https://doi.org/10.1119/1.1789161>

Minner, D. D., Levy, A. J., & Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction—what is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), s. 474–496. doi:<https://doi.org/10.1002/tea.20347>

National Research Council [NRC]. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A guide for teaching and learning*. National Academy Press.

Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., Jong, T. d., Kamp, S. A., Manoli, C. C., . . . Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, s. 47-61. doi:<https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Wertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), s. 211–227. doi:<https://doi.org/10.1002/sce.3730660207>

Reynolds, O. (1879). Xviii. on certain dimensional properties of matter in the gaseous state.-Part I. Experimental researches on thermal transpiration of gases through porous plates and on the laws of transpiration and impulsion, including an experimental proof that gas is no. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 170, s. 727-845.

Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., . . . Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), s. 632–654. doi:<https://doi.org/10.1002/tea.20311>

Sugimoto, H., & Sone, Y. (2005). Vacuum pump without a moving part driven by thermal edge. *AIP Conference Proceedings*, 762, s. 168-173. doi:<https://doi.org/10.1063/1.1941531>

Wess, J. (2010). Crookes's radiometers: a train of thought manifest. *Notes and Records of the Royal Society*, 64(4), s. 457–470. doi:<https://doi.org/10.1098/rsnr.2010.0034>

West, G. D. (1919). A Modified Theory of the Crookes Radiometer. *Proceedings of the Physical Society of London*, 32, s. 222-241. doi:<https://doi.org/10.1088/1478-7814/32/1/324>

Wolfe, D., Larraza, A., & Garcia, A. (tarih yok). A horizontal vane radiometer: Experiment, theory, and. *Physics of Fluids*, 28(3). doi:<https://doi.org/10.1063/1.4943543>

Woodruff, A. E. (1966). William Crookes and the Radiometer. *Isis*, 57(2). doi:<https://doi.org/10.1086/350112>

BÖLÜM 2

CHATGPT VE GEMINI YAPAY ZEKA UYGULAMALARININ ÇOKTAN SEÇMELİ FİZİK SORULARINDAKİ PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

1. OSMAN TÜRK¹

Giriş

Teknolojinin dijital alanında 21. yüzyıldaki en büyük gelişmelerden bir tanesi yapay zekadır. Bilim kurgu filmlerinden aşına olduğumuz yapay zeka, son zamanlarda insan hayatında önemli bir yer tutmaktadır. Eğitim, sanayi, sağlık gibi birçok alana entegre olmuş yapay zeka insan yaşamını köklü bir şekilde etkilemektedir. Yapay zeka, insan beyninin fonksiyonlarını taklit etmeyi amaçlayıp, öğrenme, problem çözme ve görsel algı oluşturma gibi bilişsel süreçleri geliştirebilen sistemler olarak tanımlanmaktadır (Nabiyev, 2012).

Günümüzde popüler olan yapay zeka ile ilgili çalışmalar aslında 17. yüzyıla kadar dayanmaktadır. 1800'lü yıllarda insan zihnini taklit eden bir hesap makinesinin geliştirilmesi, İkinci Dünya Savaşında otomatik kod kırma makinesinin icat edilmesi yapay zeka

¹ Dr, Milli Eğitim Bakanlığı, Orcid: 0000-0001-9429-406X

temelli teknoloji kullanımının başlangıcını oluşturmuştur. Bilimsel çalışmalarının 1950’li yıllardan sonra ivmelendiği yapay zeka ilk defa 1956 yılında John McCarthy tarafından Dartmouth konferansında kullanılmıştır (Coşkun ve Gülleroğlu, 2021). Bilgisayar teknolojisinin gelişimiyle yapay zeka 2000’li yıllardan itibaren daha kişiselleştirilmiş yapılara odaklanarak ileri düzey teknolojik sistemlere dönüşmüştür (Kamalov vd., 2023). Günümüzde her geçen gün daha karmaşık verileri analiz eden, öğrenen ve karar verebilen bu sistemler; insan zekâsını tamamlayan bir potansiyele ulaşmıştır.

Yapay zeka teknolojisi günümüzde eğitim, endüstri, psikoloji, güvenlik gibi alanlarda etkin kullanılmaktadır (Alafnan, Dishari, Jovic ve Lomidze, 2023; Kung vd., 2023). Yapay zeka teknolojilerinde son on yılda yaşanan gelişmeler, bilişsel görevlerin otomasyonu ve bilgi işleme süreçlerinin dijitalleşmesi açısından devrim niteliği taşımaktadır. Özellikle derin öğrenme ve doğal dil işleme alanlarındaki ilerlemeler, makinelerin insan zihni gibi metin üretmesine, akıl yürütme ve karar verme becerilerine olanak tanımaktadır (Goodfellow, Bengio, & Courville, 2016; Russell & Norvig, 2021).

Yapay zeka ile mevcut bilgiler arasındaki ilişkiyi analiz etme, kavrama, öğrenme, akıl yürütme ve problem çözme gibi üst düzey bilişsel işlemler çok kısa sürede yapılabilmektedir (Güzey, Çakır, Athar ve Yurdaöz, 2023). Yapay zekanın önemli kullanım alanlarından birisi de eğitimidir. Eğitim öğretim faaliyetlerinde, ölçme değerlendirme süreçlerinde, bilgilerin analizi ve sentezinde yapay zeka insanlara yardımcı olmaktadır (İncemen ve Öztürk, 2024). Eğitim alanında yapay zeka; öğretmen, öğrenen ve eğitim yönetimindeki sistemsel unsurlar olmak üzere üç kategoride kullanılabilir (Bajcsy vd., 2017). Öğretmenler tarafından yapay zeka kullanımı incelendiğinde; ders için gerekli öğrenme materyalleri oluşturulması, ölçme ve değerlendirme süreçlerine destek olmak, dil

çevirileri yapmak gibi görevlerde kullanılmaktadır (Lo, 2023). Öğrenenler açısından yapay zekanın kullanımı daha çok bireysel özelliklere göre öğrenme yollarının oluşturulması oluşturmaktadır. Bunun yanında öğrenciler için öğrenme ortamında yapay zeka kullanımı motivasyon artırıcı unsurlardan kabul edilebilir (Seyrek vd., 2024). Öğrenciler günümüzde sorularına yapay zeka uygulamaları yardımıyla kolayca cevaplar bulabilmektedir. Ancak yapay zeka uygulamalarının cevaplandığı soruların cevaplarının ne derece doğru olduğu ayrı bir tartışma alanıdır. Yapay zeka uygulamalarının sorulara verdiği cevaplar yapay zeka ile ilgili yapılan çalışmaların konuları arasında yer almaktadır (Yalçın-Çelik ve Çoban, 2023). Yapay zeka uygulamalarının sorulara vermiş olduğu cevapların eksik veya yanlış olması öğrenmeyi doğrudan etkileyeceği düşünülebilir (Clark, 2023).

Son dönemlerde eğitim alanında kullanılan yapay zeka araçları arasında sohbet robotları yer almaktadır. Yapay zeka tabanlı sohbet robotlarında insan etkileşimini üst seviyede tutmak için doğal dil işleme modeli kullanılmaktadır (Suta, Lan, Wu, Mongkolman ve Chan, 2020). Günümüzde aktif olarak kullanılan yapay zeka tabanlı sohbet uygulamaları arasında yer alan ChatGPT ve Gemini, geniş veri kümeleri üzerinde eğitilmiş, bağlama duyarlı ve dilsel olarak tutarlı metinler üretebilen sistemlerdir. ChatGPT (Chat Generative Pre-trained Transformer) (Gallifant, 2024), GPT-4 mimarisi üzerine inşa edilmiş olup geniş çaplı metin tabanlı eğitim sayesinde farklı alanlarda yüksek doğrulukla yanıt verebilmektedir. Google DeepMind tarafından geliştirilen Gemini (Pande, 2024) ise, çok modlu veri işleme yeteneği ile görsel, metinsel ve kod tabanlı bilgileri bütünleştirerek daha kapsamlı bir bilişsel analiz kapasitesine ulaşmıştır. Bu iki sistem, yapay zekânın değerlendirme süreçlerindeki potansiyelini karşılaştırmalı olarak incelemek açısından önemli örnekler oluşturmaktadır (Kaddouri vd., 2025).

Çoktan seçmeli testler, bireylerin bilgi, kavrama ve analiz düzeylerini ölçmek için uzun yıllardır kullanılan standart bir ölçme aracıdır. Bu testlerde yalnızca yüzeysel bilgi değil, aynı zamanda çıkarım yapma, dikkat, bağlam çözümü ve kavramsal anlama gibi üst düzey bilişsel beceriler de rol oynamaktadır (Haladyna, Downing & Rodriguez, 2002). Literatürde yapılan çalışmalar, yapay zeka sohbet robotlarının çoktan seçmeli testlerde giderek artan başarı sergilediğini ortaya koymaktadır. ChatGPT'nin tıp, hukuk, tarih ve fen alanlarında uygulanan çoktan seçmeli testlerde insan düzeyine yakın veya üzeri performans gösterdiği rapor edilmiştir (Kung vd., 2023). Şensoy, Şensoy ve Çıtırk (2025) yapay zeka programlarının pediatrik oftalmoloji ve şaşılık ile ilişkili çoktan seçmeli sorulara verdikleri cevapları incelemiştir. ChatGPT ve Gemini'ye aynı sorular sorulmuş olmasına rağmen İngilizce ve Türkçe sorularda ChatGPT Gemini'ye göre daha başarılı olmuştur. Yalçın-Çelik ve Çoban (2023), yüzey gerilimi konusunda üniversite düzeyinde Bloom Taksonomisi dikkate alınarak hazırlanmış sorularda yapay zeka sohbet robotlarının performanslarını incelemiş ve sohbet robotlarının 60 üzerinden 35 ve 38 puan aldıklarını belirtmişlerdir. Ayrıca yapay zeka sohbet robotlarının açıklamalarının %66 oranında net olduğunu da ifade etmişlerdir.

Yapay zekâ sistemlerinin çoktan seçmeli testlerdeki performansları, yalnızca teknik doğruluk göstergesi değil, aynı zamanda insan benzeri bilişsel süreçleri ne ölçüde taklit edebildiklerinin de bir göstergesi olarak değerlendirilebilir (Popenici, 2023). Bununla birlikte, yapay zeka sohbet robotlarının çoktan seçmeli sorulara verdiği cevaplarda doğru yanıt güveni, bağlam kaybı ve tutarsız çıkarım gibi sorunlar göstermektedir. Bu bağlamda, yapay zekâ uygulamalarının çoktan seçmeli sorulardaki performansını incelemek, hem bu modellerin bilişsel kapasitelerini anlamak hem de eğitimde ölçme-değerlendirme süreçlerine

entegrasyon olanaklarını değerlendirmek açısından önemlidir (Rudolph, Tan ve Tan, 2023).

Bu çalışmanın amacı; yapay zeka tabanlı sohbet uygulamalarının fizik sorularındaki performansının incelenmesi ve fizik sorularına verdiği cevapların bilimsel açıdan değerlendirilmesidir. Bu amaç kapsamında yapay zeka tabanlı sohbet uygulamalarının, ğrenci Seçme ve Yerleştirme Merkezi (ÖSYM) tarafından 2018 yılından itibaren uygulanan Temel Yeterlilik Testindeki (TYT) fizik sorularına verdiği cevaplar incelenmiştir. Çalışmada günümüzde sıkça kullanılan yapay zeka sohbet uygulamalarından ChatGPT ve Gemini'nin TYT fizik sorularına verdiği cevaplar analiz edilerek aşağıdaki araştırma sorularına cevaplar aranmıştır;

Yapay zeka tabanlı sohbet uygulamaları olan ChatGPT ve Gemini'nin TYT fizik sorularından oluşturulan ölçekten kaç soruya doğru cevap vermiştir?

Yapay zeka tabanlı sohbet uygulamaları olan ChatGPT ve Gemini'nin sorulara verdiği cevaplardaki kesinlik durumu nasıldır?

Yapay zeka tabanlı sohbet uygulamaları olan ChatGPT ve Gemini, TYT kapsamındaki konulara verdiği cevaplar bilimsel açıdan değerlendirildiğinde hata kaynakları nelerdir?

Yapay zeka tabanlı sohbet uygulamaları olan ChatGPT ve Gemini, TYT fizik konularındaki performansı nasıldır.

Yöntem

Yapay zeka tabanlı sohbet uygulamalarının fizik sorularına ver-dikleri cevapların incelendiği bu çalışmada nitel araştırma desenlerinden durum çalışması kullanılmıştır. Durum çalışmalarında; bir veya birkaç durumla ilgili etkenlerin araştırıldığı ve bu etkenlerin mevcut durumu nasıl etkelediği bütüncül bir yaklaşımla analiz edildiği araştırmalardır (Yıldırım ve şimşek,

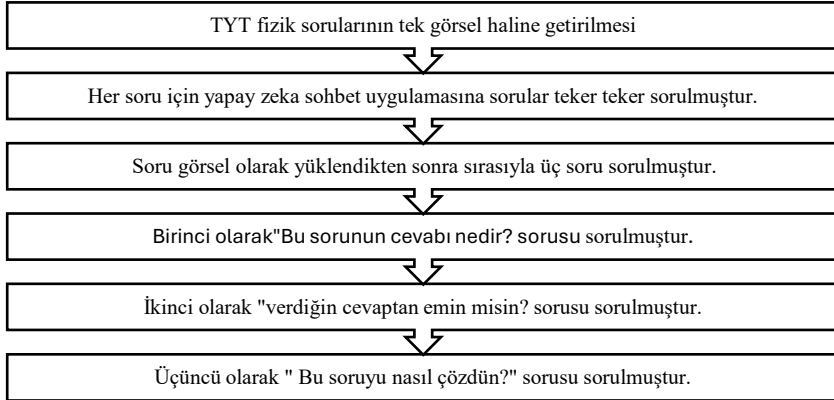
2014). Bu kapsamda yüksek ğretim kurumlarına ğrenci seçmek için ÖSYM tarafından uygulanan TYT’deki fizik sorularından oluşturulan ölçeğe yapay zeka tabanlı sohbet uygulamasının verdiği cevaplar incelenmiştir. Yapay zeka tabanlı sohbet uygulamasının ölçekteki sorulara verdiği sorular içerik olarak analiz edilmiştir.

Verilerin Toplanması

Çalışmada OpenAI tarafından geliştirilen yapay zeka tabanlı sohbet robotu ChatGPT ve Google tarafından geliştirilen yapay zeka tabanlı sohbet robotu Gemini kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan yapay zeka tabanlı sohbet robotunun belirlenirken kolay kullanım, kullanıcı sayısı ve Türkçe dil desteğinin olması gibi unsurlar dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda çalışma kapsamında ChatGPT ve Gemini yapay zeka tabanlı sohbet robotlarının kullanılmasına karar verilmiştir. ChatGPT, Kasım 2022 tarihinde OpenAI tarafından insanların kullanımı için piyasaya sürülmüştür (Kurian, Varghese & Wadhwa, 2023). ChatGPT, chatbot olarak adlandırılan kural tabanlı ve kendi kendine öğrenme yöntemleri olarak kullanılan sistemler içinde yer almaktadır (Gallifant vd., 2024). Gemini, Google AI tarafından 2023 yılında geliştirilerek kullanıma sunulan Bard isimli yapay zeka tabanlı sohbet uygulamasının güncellenmiş versiyonudur. ChatGPT’nin yaygın olarak kullanılan ve ücretsiz sürümü olan “3,5” sürümünün yanında ücretli kullanım olan sürümü de mevcuttur. Aynı zamanda Gemini Pro 1.5 sürümü belirli sınırlar kapsamında ücretsiz kullanılabilmektedir. Çalışmanın kapsam geçerliliğinin artırılması ve yapay zeka tabanlı sohbet uygulamalarının fizik sorularına daha iyi cevaplar verebilmesi için ChatGPT uygulamasının “4.0” versiyonu ve Gemini uygulamasının “1.5 Pro” sürümü kullanılmıştır. ChatGPT’nin ilgili sürümüne OpenAI’nın web sayfasından erişim sağlanmıştır (<https://chat.openai.com/>). Gemini Pro 1.5 sürümüne ise <https://aistudio.google.com/> adresinden erişim sağlanmıştır.

Çalışmanın kapsam geçerliliğini artırmak adına yapay zeka tabanlı sohbet uygulamalarının çoktan seçmeli fizik sorularındaki performansının değerlendirilmesi için ÖSYM tarafından 2018 yılından itibaren uygulanan TYT’deki “fen bilimleri testinde” yer alan fizik soruları kullanılmıştır. 2018-2024 yılları arasında TYT’deki fen bilimleri testinde yer alan fizik sorularına ÖSYM’nin web sayfasından erişim sağlanmıştır (<https://www.osym.gov.tr/TR,29144/2024.html>). TYT’nin 2018-2024 yılları arasında uygulanan fen bilimleri testinde yer alan tüm fizik sorularından oluşturulan fizik testinde toplam 49 soru yer almıştır. Ayrıca yapay zeka tabanlı sohbet robotunun soruları okuyabilmesi için sorular tek görsel haline getirilmiştir. Sorular teker teker yapay zeka tabanlı sohbet uygulamalarına sorulmuştur. Yapay zeka tabanlı sohbet uygulamalarının çoktan seçmeli fizik sorularına verdiği cevapların elde edilmesi süreci Şekil 1’de ifade edilmiştir.

Şekil 1 Yapay Zeka Tabanlı Sohbet Robotlarından Veri Toplama Süreci



Şekil 1’de ifade edildiği gibi çoktan seçmeli her fizik sorusunun cevabı için ChatGPT ve Gemini uygulamalarına üç soru sorulmuştur. Burada bu yapay zeka tabanlı uygulamaların sorulara verdiği cevapları kontrol etmesi aynı zamanda çalışmanın iç geçerliliğinin artırılması amaçlanmıştır. ChatGPT ve Gemini

uygulamalarının sorulara vermiş olduğu cevaplar teker teker kaydedilmiştir.

Çalışmanın kapsam geçerliliğinin artırılması adına çoktan seçmeli soru sayısının fazla olması, soruların görsel içeriklerden oluşmasına ve yorum becerisi gerektiren sorular olmasına dikkat edilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan soruların konu ve ait olduğu yıllara göre dağılımı Tablo 1’de ifade edilmiştir.

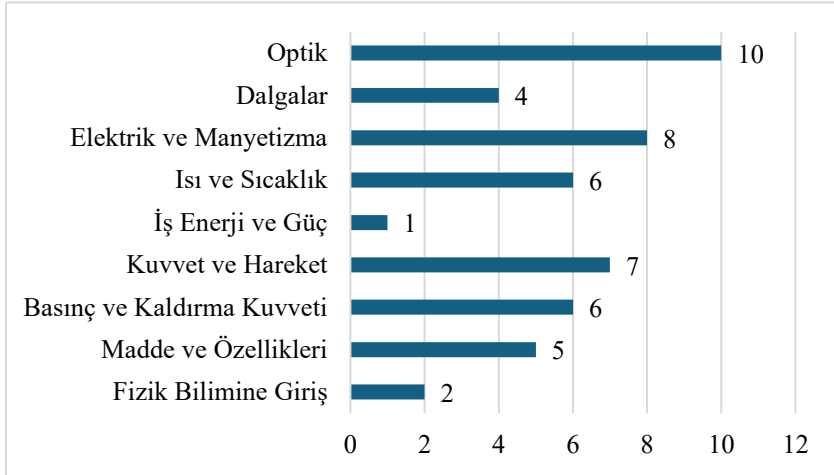
Tablo 1 Çalışma Kapsamında Kullanılan Çoktan Seçmeli Sorular ve Konuları

Soru No	Yılı	Konusu	Soru No	Yılı	Konusu
1.soru	TYT 2018	Bilimsel Bilgi Özellikleri	29.soru	TYT 2022	Özkütle
2.soru	TYT 2018	Hareket	30.soru	TYT 2022	Kuvvet
3.soru	TYT 2018	Kaldırma Kuvveti	31.soru	TYT 2022	Akışkanların Hızı ve Basıncı
4.soru	TYT 2018	Öz Isı-Isı Sığası	32.soru	TYT 2022	Isı İletkenliği
5.soru	TYT 2018	Elektrik Yükleri	33.soru	TYT 2022	Elektiriksel Kuvvet
6.soru	TYT 2018	Aydınlanma	34.soru	TYT 2022	Dalgaların Özellikleri
7.soru	TYT 2018	Kırılma	35.soru	TYT 2022	Düzlem Aynada Görüntü Özellikleri
8.soru	TYT 2019	Özkütle	36.soru	TYT 2023	Özkütle
9.soru	TYT 2019	Hız Sürat ve Yer Değiştirme	37.soru	TYT 2023	Hareket
10.soru	TYT 2019	Güç	38.soru	TYT 2023	Elektiriksel Güç
11.soru	TYT 2019	Genleşme	39.soru	TYT 2023	Isı İletim Yolları
12.soru	TYT 2019	Elektrik Devreleri	40.soru	TYT 2023	Elektrik Devreleri Lamba Parlaklığı
13.soru	TYT 2019	Aydınlanma	41.soru	TYT 2023	Aydınlanma
14.soru	TYT 2019	Renk	42.soru	TYT 2023	Yansıma

15.soru	TYT 2020	SI Birim Sistemi	43.soru	TYT 2024	Özkütle
16.soru	TYT 2020	Kuvvet İvme	44.soru	TYT 2024	Sürtünme Kuvveti
17.soru	TYT 2020	Kaldırma Kuvveti	45.soru	TYT 2024	Kaldırma Kuvveti
18.soru	TYT 2020	Gaz Basıncı	46.soru	TYT 2024	Isı Alışverişi
19.soru	TYT 2020	Elektrik Devreleri	47.soru	TYT 2024	Elektrik Devreleri Elektriksel Enerji
20.soru	TYT 2020	Dalgaların Özellikleri	48.soru	TYT 2024	Yay Dalgaları
21.soru	TYT 2020	Küresel Ayna Görüntü Özellikleri	49.soru	TYT 2024	Küresel Ayna Görüntü Özellikleri
22.soru	TYT 2021	Adezyon Kohezyon Kılcallık			
23.soru	TYT 2021	Kuvvet			
24.soru	TYT 2021	Katı Basıncı			
25.soru	TYT 2021	Isı İletkenliği			
26.soru	TYT 2021	Elektriksel Enerji			
27.soru	TYT 2021	Dalgaların Özellikleri			
28.soru	TYT 2021	Merceklerde Görüntü Özellikleri			

Tablo 1’de ChatGPT ve Gemini yapay zeka tabanlı sohbet uygulamalarının çoktan seçmeli fizik sorularındaki performansının değerlendirilmesi için kullanılan 49 TYT fizik sorusunun dağılımı yer almaktadır. ÖSYM’nin TYT fen bilimleri testi içerisinde 2018 yılından itibaren her yıl yedi fizik sorusu yer almaktadır. 2024 yılında uygulanan TYT fen bilimleri testindeki fizik sorularının dahil edilmesiyle beraber çoktan seçmeli 49 fizik sorusu elde edilmiştir. Bu soruların ortaöğretim fizik öğretim programındaki ünitelere göre dağılımı Şekil 2 ‘de ifade edilmiştir.

Şekil 2 Çalışma Kapsamında Kullanılan Çoktan Seçmeli Soruların Ünitelere Göre Dağılımı



Şekil 2 incelendiğinde çalışma kapsamında kullanılan 49 TYT fizik sorusunun optik, elektrik ve manyetizma, kuvvet ve hareket, basınç ve kaldırma kuvveti ünitelerinin konularını kapsadığı görülmektedir.

Verilerin Analizi

Çalışma kapsamında elde verilerin analizi betimsel ve içerik analizine göre gerçekleştirilmiştir. Verilerin analizi fizik eğitimi alanında uzman iki kişi tarafından yapılmıştır. Veri analizi üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada yapay zeka tabanlı sohbet uygulamaları olan ChatGPT ve Gemini'ye TYT fizik sorularının sorulmasının ardından elde edilen cevaplar ayrı ayrı dosyalara kaydedilmiştir. ChatGPT ve Gemini'nin TYT fizik sorularına verdiklerin cevapların doğruluğu ÖSYM tarafından yayımlanan cevap anahtarlarına göre “doğru” ve “yanlış” olarak araştırmacılar tarafından değerlendirilmiştir. ChatGPT ve Gemini'nin yazılı olarak verdiği cevaplar ile belirttiği cevap seçeneği sorunun doğru cevap seçeneği ile karşılaştırılmıştır. İki

cevap uyumlu ise “doğru” uyumlu değilse “yanlış” olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca sorulara vermiş oldukları cevaplardan emin olup olmama durumları ChatGPT ve Gemini’ye sorulmuştur. Bu soruya verilen cevaplar “emin” ve “emin değil” olarak kodlanmıştır.

Veri analizinin ikinci aşamasında; ChatGPT ve Gemini’nin TYT fizik sorularına verdiği cevapların içerik analizi yapılmıştır. Yapay zeka tabanlı sohbet uygulamalarının çoktan seçmeli sorulara verdiği cevaplar incelenerek yanlış yapılan soruların hata kaynakları belirlenmiştir. Bu aşamada iki araştırmacı tarafından yanlış cevapların hata kaynakları ayrı kodlanmıştır. Hata kaynaklarında “yorumlama hatası”, “yanlış bilgi”, “eksik bilgi”, “şekil-grafik-tablo yorumlama hatası” ve “seçenekleri yanlış değerlendirilme” olarak beş farklı tema altında kodlanmıştır. Kodlamayı gerçekleştiren araştırmacılar arasında tam uyum aranmıştır. Farklı kodlamalar için araştırmacılar kendi aralarında tartışarak temayı netleştirmiştir.

Veri analizinin üçüncü aşamasında ise; ChatGPT ve Gemini’nin fizik konularındaki performansı incelenmiştir. Yapay zekalı sohbet uygulamalarına sorulan soruların fizik ünitelerine göre dağılımı Şekil 2’de ifade edilmiştir. Şekil 2’deki fizik ünitelerine göre ChatGPT ve Gemini performansları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın güvenilirliğini artırma amaçlı olarak araştırmacılar tarafından kodlanan temalarla ilgili alıntılara bulgular başlığı altında yer verilmiştir.

Bulgular

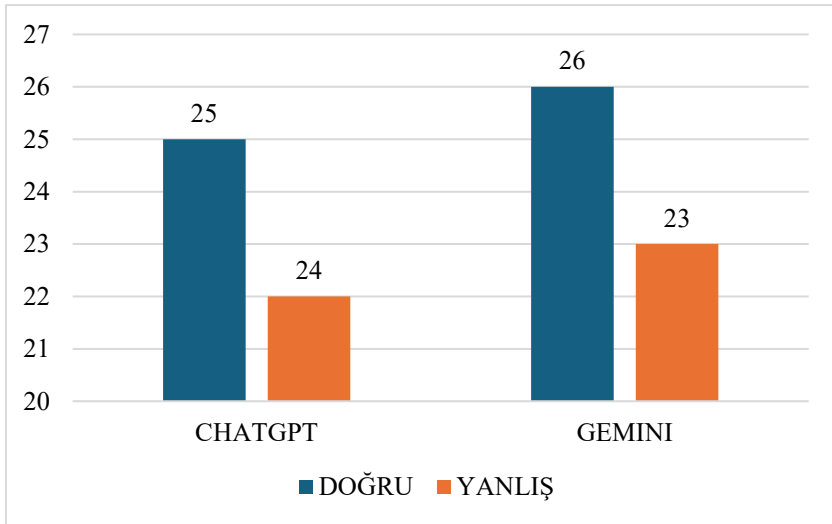
Çalışmanın bulguları araştırma soruları kapsamında dört bölümde ele alınmıştır. Birinci bölümde, ChatGPT ve Gemini’nin çoktan seçmeli fizik sorularındaki performansı karşılaştırılmıştır. İkinci bölümde ChatGPT ve Gemini’nin yanlış yaptığı sorularda hata kaynaklarıyla ilgili bulgular ele alınmıştır. Üçüncü bölümde ChatGPT ve Gemini’nin çoktan seçmeli sorularda kesinlik

durumları ele alınırken dördüncü bölümde ise fizik konularındaki performansları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

ChatGPT ve Gemini Yapay Zeka Tabanlı Sohbet Uygulamalarının Çoktan Seçmeli Fizik Sorularındaki Performansının İncelenmesi

Bu bölümde ChatGPT ve Gemini yapay zeka tabanlı sohbet uygulamalarına yöneltilen çoktan seçmeli 49 fizik soruna vermiş oldukları cevaplar karşılaştırılmıştır. ChatGPT ve Gemini uygulamalarının çoktan seçmeli 49 fizik soruna verdiklerin cevapların karşılaştırılması Şekil 3’de ifade edilmiştir.

Şekil 3 ChatGPT ve Gemini ’nin çoktan seçmeli fizik sorularındaki performansı



Şekil 3 incelendiğinde; çoktan seçmeli 49 fizik sorusu yöneltilen yapay zeka tabanlı sohbet uygulamalarından ChatGPT 25 soruyu doğru, 24 soruyu yanlış cevaplandırmıştır. Gemini ise 26 soruyu doğru 23 soruyu yanlış cevaplandırmıştır. Bu karşılaştırmaya göre Gemini uygulaması ChatGPT’ye göre bir soru fazla doğru cevaplandırma yapmıştır. ChatGPT ve Gemini uygulamalarının

cevapladığı soruların karşılıklı değerlendirmesi ve kesinlik durumları Tablo 2’de ifade edilmiştir.

Tablo 2 ChatGPT ve Gemini’nin TYT fizik sorularına verdiği cevapların değerlendirilmesi

Sınav Yılı	Soru Numarası	ChatGPT		Gemini	
		Cevap	Kesinlik	Cevap	Kesinlik
TYT 2018	1.soru	Doğru	Emin	Doğru	Emin
	2.soru	Yanlış	Emin	Doğru	Emin
	3.soru	Doğru	Emin	Doğru	Emin
	4.soru	Yanlış	Emin	Doğru	Emin
	5.soru	Yanlış	Emin	Doğru	Emin
	6.soru	Doğru	Emin	Doğru	Emin
	7.soru	Yanlış	Emin	Yanlış	Emin değil
TYT 2019	8.soru	Yanlış	Emin	Doğru	Emin
	9.soru	Doğru	Emin	Doğru	Emin
	10.soru	Doğru	Emin	Doğru	Emin
	11.soru	Doğru	Emin	Doğru	Emin
	12.soru	Yanlış	Emin	Yanlış	Emin
	13.soru	Doğru	Emin	Doğru	Emin
	14.soru	Yanlış	Emin	Yanlış	Emin
TYT 2020	15.soru	Doğru	Emin	Doğru	Emin değil
	16.soru	Yanlış	Emin	Yanlış	Emin
	17.soru	Doğru	Emin	Yanlış	Emin değil
	18.soru	Yanlış	Emin değil	Doğru	Emin
	19.soru	Yanlış	Emin	Yanlış	Emin değil
	20.soru	Doğru	Emin	Doğru	Emin
	21.soru	Yanlış	Emin	Yanlış	Emin
TYT 2021	22.soru	Doğru	Emin	Yanlış	Emin
	23.soru	Doğru	Emin	Yanlış	Emin
	24.soru	Yanlış	Emin	Yanlış	Emin
	25.soru	Doğru	Emin	Yanlış	Emin
	26.soru	Doğru	Emin	Doğru	Emin
	27.soru	Yanlış	Emin	Doğru	Emin
	28.soru	Doğru	Emin	Yanlış	Emin
TYT 2022	29.soru	Yanlış	Emin	Doğru	Emin
	30.soru	Doğru	Emin	Doğru	Emin
	31.soru	Yanlış	Emin	Doğru	Emin
	32.soru	Doğru	Emin	Yanlış	Emin değil
	33.soru	Doğru	Emin	Yanlış	Emin
	34.soru	Doğru	Emin	Doğru	Emin
	35.soru	Yanlış	Emin	Yanlış	Emin

TYT 2023	36.soru	Yanlış	Emin	Yanlış	Emin
	37.soru	Yanlış	Emin	Yanlış	Emin
	38.soru	Yanlış	Emin	Doğru	Emin
	39.soru	Doğru	Emin	Doğru	Emin
	40.soru	Yanlış	Emin	Yanlış	Emin
	41.soru	Yanlış	Emin	Yanlış	Emin
	42.soru	Yanlış	Emin	Doğru	Emin
TYT 2024	43.soru	Doğru	Emin	Yanlış	Emin
	44.soru	Yanlış	Emin	Yanlış	Emin
	45.soru	Doğru	Emin	Yanlış	Emin
	46.soru	Doğru	Emin	Yanlış	Emin
	47.soru	Doğru	Emin	Doğru	Emin
	48.soru	Yanlış	Emin	Doğru	Emin
	49.soru	Doğru	Emin	Doğru	Emin
	49.soru	Doğru	Emin	Doğru	Emin

Tablo 2 incelendiğinde; ChatGPT ve Gemini, 2018 TYT fen bilimleri testinde yer alan fizik sorularından aynı üç soruyu (1, 3, 6. sorular) doğru cevaplandırmıştır. Üç soru (2, 4 ve 5. sorular) ChatGPT tarafından yanlış cevaplandırılırken Gemini tarafından doğru cevaplandırılmıştır. Kırılma konusunu içeren 7. soru ise iki uygulama tarafından yanlış cevaplandırılmıştır. 2019 TYT fen bilimleri testinde yer alan fizik sorularından dördü (9, 10, 11 ve 13. sorular) iki uygulama tarafından doğru cevaplandırılmıştır. 8. soru ChatGPT tarafından yanlış cevaplandırılırken Gemini tarafından doğru cevaplandırılırken 14. soru her iki uygulama tarafından yanlış cevaplandırılmıştır. 2020 TYT fen bilimleri testinde yer alan fizik sorularından ikisi (15 ve 20. sorular) her iki uygulama tarafından doğru cevaplandırılırken üç soru (16, 19 ve 21. sorular) yanlış cevaplandırılmıştır. 17. soru ChatGPT tarafından doğru Gemini tarafından yanlış, 18. soru ise Gemini tarafından doğru ChatGPT tarafından yanlış cevaplandırılmıştır. 2021 TYT fen bilimleri testinde yer alan fizik sorularından dördü (22, 23, 25 ve 26. sorular) ChatGPT tarafından doğru Gemini tarafından yanlış cevaplandırılırken 27. soru tam tersine Gemini tarafından doğru cevaplandırılmış ChatGPT tarafından yanlış cevaplandırılmıştır. 26. soru her iki uygulama tarafından doğru, 24. soru ise her iki uygulama

tarafından yanlış cevaplandırılmıştır. 2022 TYT fen bilimleri testinde yer alan fizik sorularından ikisi (30 ve 34. sorular) her iki uygulama tarafından doğru, biri (35. soru) ise yanlış cevaplandırılmıştır. 32 ve 33. Sorular ChatGPT tarafından doğru Gemini tarafından yanlış, 29 ve 31. Sorular Gemini tarafından doğru ChatGPT tarafından yanlış cevaplandırılmıştır. 2023 TYT fen bilimleri testinde yer alan fizik sorularından dördü (36, 37 40 ve 41. sorular) her iki uygulama tarafından yanlış, 39. soru ise doğru olarak cevaplandırılmıştır. 42. soru ise ChatGPT tarafından yanlış Gemini tarafından doğru cevaplandırılmıştır. 2024 TYT fen bilimleri testinde yer alan fizik sorularından ikisi (47 ve 49. sorular) her iki uygulama tarafından doğru, 44. soru ise yanlış cevaplandırılmıştır. 43, 46 ve 45. sorular ChatGPT tarafından doğru cevaplandırılırken Gemini tarafından yanlış, 48. soru ise ChatGPT tarafından yanlış Gemini tarafından doğru cevaplandırılmıştır.

Yapay zeka tabanlı sohbet uygulamaları olan ChatGPT ve Geminin çoktan seçmeli sorulara verdiği cevapların doğru değerlendirilmesi için soruların cevaplarına verdiği açıklamalar ve cevap seçeneği sorunun doğru cevabı ile karşılaştırılmıştır. Örneğin 47. soru olan her iki uygulama tarafından doğru cevaplandırılmıştır. Potansiyel fark-akım grafiği verilen soruda A, B ve C lambalarının bağlanma şekillerine göre potansiyel farklarını ve harcadıkları elektriksel enerjilerin karşılaştırılmasının istendiği soruda ChatGPT; “doğru cevap: $E, V_A=V_B=V_C, P_B < P_A < P_C$ ” şeklinde cevap seçeneğini belirtmiştir. Sorunun cevabı şu şekilde açıklanmıştır;

Grafikten anlaşılanlar; tellerin üzerindeki akım ve uçlarındaki potansiyel fark doğrusal bir grafikte verilmiş, grafikteki eğim, direnç (R) ile ilişkilidir. Çünkü $V=I.R$ şeklindedir. Eğim sırasına göre $R_A > R_B > R_C$ 'dir. Ampuller (A,B,C) bir üretece paralel bağlanmıştır. Paralel bağlı devrede potansiyel fark her bir kol için aynıdır. Yani $V_A=V_B=V_C$ 'dir. Elektriksel güç formülü $P=V^2/R$ paralel bağlı oldukları için potansiyel fark sabit dirençler farklıdır. Bu

durumda direnci en büyük olan R_A en az güç harcar. Çözüm $V_A=V_B=V_C$, $P_B < P_A < P_C$ şeklinde olacaktır.

Aynı soru Gemini tarafından; “*ampuller paralel bağlı olduklarından potansiyel farkları eşittir. Yani $V_A = V_B = V_C$. Grafikten de görüleceği üzere teller üzerinden geçen akımlar $I_A > I_B > I_C$ şeklindedir. Ampullerin güçleri $P = IV$ olduğundan, $P_A < P_B < P_C$ olacaktır. Yani doğru cevap E şıkkıdır*” cevaplandırılmıştır. Her iki uygulamanın sorulara vermiş olduğu cevaplar değerlendirilirken belirtmiş oldukları cevap seçenekleri ve cevaba ilişkin açıklamaları ele alınmıştır. Bu kapsamda her iki uygulama soruda yer alan grafiği doğru değerlendirmiş ve elektrik devresindeki lambaların bağlanma şeklini doğru tespit etmiştir. Elektriksel güç ile ilgili yapmış oldukları açıklamalar ve cevap seçenekleri doğru olduğu için her iki uygulama 47. soruyu doğru olarak cevaplandırmıştır.

Her iki uygulama tarafından yanlış olarak cevaplandırılan 21. soruda düzlem aynanın hava ortamında ve cisim ve aynanın tamamen su içinde olduğu durumdaki görüntü özelliklerini karşılaştırmaları istenmiştir. ChatGPT, düzlem aynanın havuz içinde oluşturduğu görüntünün havaya göre daha büyük olduğunu ifade etmiştir. Bu ifadeyi; “*gözlemci tamamen su içerisindeyken, ışığın kırılma özelliklerinden dolayı aynaya ulaşan ışınların daha kısa bir mesafeden geldiği algılanır. Bu da görüntünün olduğundan daha büyük görünmesine yol açar*” şeklinde açıklamıştır. Görüntünün havuz içinde havaya göre aynadan daha uzak olduğuna dair ifadeyi yanlış olarak belirtmiştir. Bu durumu “*su içerisinde ışığın hızı azalır ve kırılma meydana gelir. Bu durum, gözlemcinin aynaya olan uzaklığını algılamasını değiştirmez; çünkü fiziksel mesafe değişmez.*” Şeklinde açıklamıştır. Görüntünün hava ve havuz ortamında boylarının eşit olması ifadesini ise doğru olarak değerlendirmiştir. Bu ifadeyi “*tuzlu suyun kırılma indisi, saf suya göre daha büyüktür. Bu durum ışığın kırılma derecesini değiştirebilir. Ancak, görüntünün boyu kırılma indisine bağlı olsa da*

fiziksel olarak gözlemcinin gerçek boyu ve görüntüsü etkilenmez.” Şeklinde açıklamıştır. Sorunun sonunda yargılardan I ve III’ün doğru olduğunu belirtip doğru seçeneğin E seçeneği olması gerektiğini ifade etmiştir. Aynı sorunun birinci seçeneği Gemini tarafından “*ilk durumda oluşan görüntüye göre daha büyüktür: Yanlış. Düzlem aynada görüntü boyu cismin boyuna eşittir. Ortamın değişmesi görüntünün boyutunu etkilemez*” olarak değerlendirilmiştir. İkinci önermesi ise doğru olarak değerlendirilerek açıklaması; “*kişi havadayken, aynadaki görüntüsü aynaya olan uzaklığı kadar aynanın arkasında oluşur. Suyu girdiğinde ise, ışık ışınları sudan havaya geçerken kırılır. Bu kırılma nedeniyle, kişi aynaya olduğundan daha yakınmış gibi görünür. Dolayısıyla, su içindeyken oluşan görüntünün aynaya olan uzaklığı, havadayken oluşan görüntünün aynaya olan uzaklığından fazladır*” şeklinde yapılmıştır. Üçüncü önermesi de doğru olarak değerlendirilip açıklaması; “*görüntünün boyu, suyun tuzlu veya tatlı olmasıyla değişmez. Düzlem ayna her zaman cisimle aynı boyda bir görüntü oluşturur*” şeklinde yapılmıştır. Doğru cevabın E seçeneği olduğunu belirtmiştir. Her iki uygulama da düzlem ayna ve cismin havuzun içinde olduğunu ihmal etmesi sorunun yanlış değerlendirilmesine neden olmuştur.

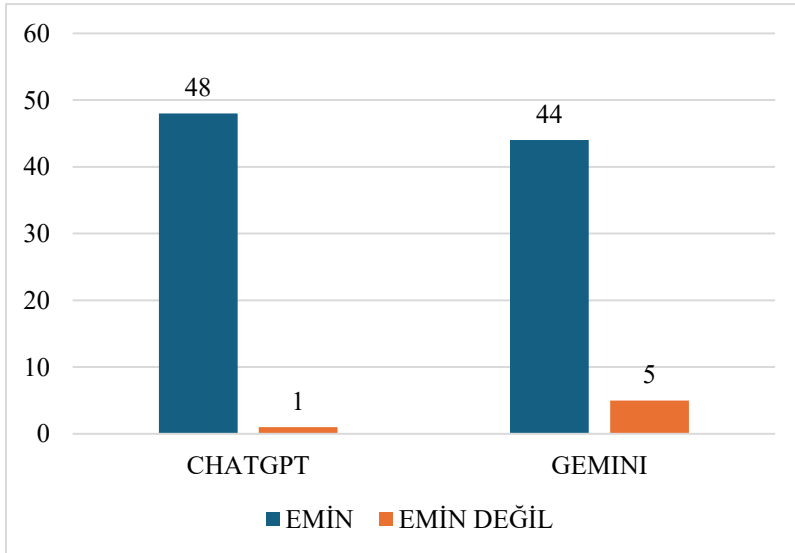
ChatGPT tarafından yanlış, Gemini tarafından doğru cevaplandırılan 27. soruda, bir ucu duvara sabitlenmiş ipin üzerindeki dalgalar için ipin gerilimi değiştirilmeden ipten oluşan dalgaların hızı ve frekansının ilk duruma göre değerlendirilmesi sorulmuştur. Gemini uygulaması bu soruyu cevaplandırırken “*gerginlik değişmediği için dalga hızı da değişmez*” ve “*hız sabit olduğundan, frekans arttıkça dalga boyu azalır ve tersi de geçerlidir*” ifadelerini belirterek doğru cevabın “*A) $V_1 = V_2$; $f_1 < f_2$* ” olduğunu ifade etmiştir. ChatGPT ise “*soruda ip gerilimin değiştiği belirtilmiş, ip daha hızlı hareket ettirildiyse ipteki gerilim ve dalganın hızı artar. Dalga boyu aynı kalacağı için hızın artması*

frekansın artması anlamına gelir” şeklinde değerlendirmiştir. Bu değerlendirmeye göre “ $V_1 < V_2$, $f_1 < f_2$ ” şeklinde soruyu cevaplandırmıştır. Bu soruda ChatGPT, ipin daha hızlı hareket ettirilmesini ipin gerginliğinin değiştirilmesi olarak değerlendirmiş ve ipteki dalgaların hızının değiştiğini ifade etmiştir. Soruda ipin gerginliğinin değiştirilmeden daha hızlı sallandığı belirtilmiş olmasına rağmen ChatGPT soruyu yanlış anlamış ve buna göre cevaplandırmıştır.

ChatGPT ve Gemini Yapay Zeka Tabanlı Sohbet Uygulamalarının Çoktan Seçmeli Fizik Sorularına Verdikleri Cevapların Kesinlik Durumları

ChatGPT ve Geminin çoktan seçmeli 49 fizik sorusuna verdikleri cevaplarla ilgili olarak “*bu sorunun cevabından emin misin?*” sorusu sorulmuştur. Yapay zeka tabanlı sohbet uygulamalarının bu soruya verdikleri cevaplarla ilgili analizler Şekil 4’de ifade edilmiştir.

Şekil 4 ChatGPT ve Gemini Uygulamalarının Çoktan Seçmeli Fizik Sorularına Verdiği Cevapların Kesinlik Durumları



Şekil 4 incelendiğinde; ChatGPT cevaplandığı 49 sorudan sadece bir sorunun cevabından emin olmadığını belirtirken Gemini ise cevaplandığı 49 sorudan beş sorunun cevabından emin olmadığını ifade etmiştir. ChatGPT tarafından emin olmadan cevaplandırılan 18. soruda ucuna balon takılmış bir şişenin sıcak ortamdan soğuk ortama geçişi sonrasında balonun durumu sorulmaktadır. ChatGPT’nin soruya ilk cevabı “*Şişe buzlu suya konulduğunda balon, şişenin içine doğru daha fazla çekilecektir. Doğru cevap: D şıkkı (İlk hâline geri döner)*” şeklinde olmuştur. Sorunun cevabından emin olup olmadığı sorulduğunda ise “*haklısınız, bu sorunun cevabını yeniden dikkatlice analiz edelim. Soruyu fiziksel prensipler çerçevesinde tekrar değerlendirerek doğru sonuca ulaşacağım*” yanıtını vermiştir. Soruyu tekrar değerlendirdiğinde ise “*Doğru Cevap: Şişenin içine doğru daha fazla çekilir. Bu ifade şıklarda yok gibi görünüyor ama doğru yorumu D şıkkına en yakın olan sonuçtur*” cevabını vermiştir. ChatGPT’nin verdiği sonuçlar değerlendirildiğinde sorunun kesin cevabına ulaşamadığı ve kendi bulduğu cevaba en yakın seçeneği doğru olarak kabul ettiği görülmektedir.

Gemini ise cevaplandığı sorulardan beş tanesini (7, 15, 17, 19 ve 32. sorular) emin olmadan cevaplandırmıştır. Gemini, yedinci sorunun cevabını seçenekler arasında bulamamıştır. Sorunun cevabından emin olmadığını; “*doğru cevap D) I, II ve III olmalıdır. Ancak seçeneklerde bir hata var gibi görünüyor. Seçenek D’de I, II ve III yazıyor fakat doğru olan I ve III. Dolayısıyla soru hatalı, eğer I ve III seçeneği olsaydı o doğru cevap olurdu*” şeklinde ifade etmiştir. SI birimlerinin sorulduğu 15. soruda da çözüm sonucunda belirlemiş olduğu seçeneğini cevap seçenekleri arasında bulamamıştır. Bu durumu ise “*sorunun cevabının net olmadığından eminim, nedeni ise; Soru, spikerin verdiği bilgilerin SI birimlerindeki karşılıklarını soruyor. Ancak, iki farklı yorumlama yapılabilir: Tam SI Karşılıkları: Bu durumda, zaman için saniye,*

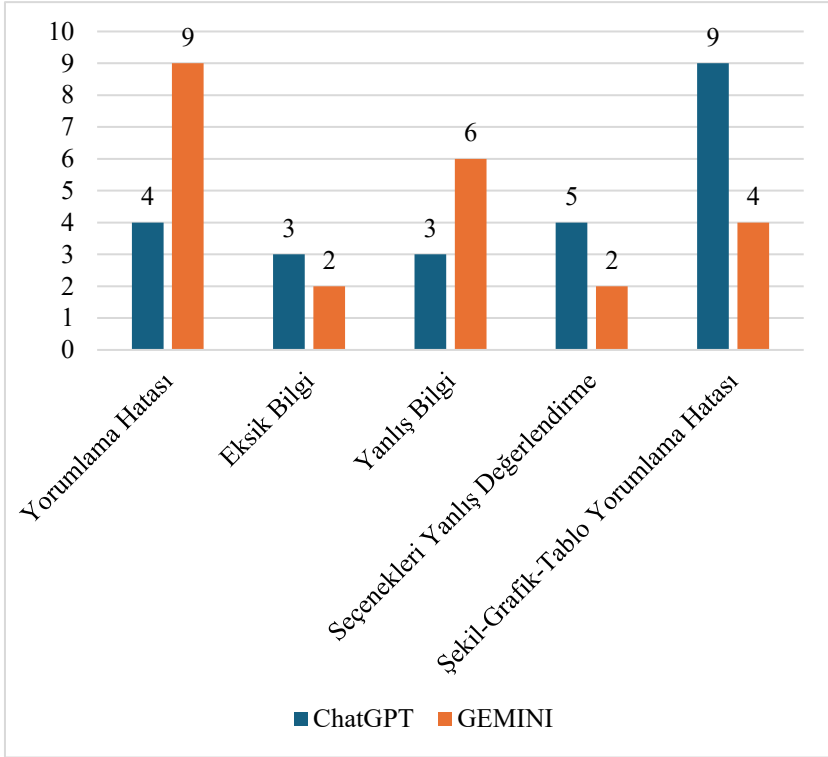
sıcaklık için Kelvin ve uzunluk için metre kullanılmalıdır. Bu, B seçeneğine karşılık gelir” şeklinde ifade etmiştir. Gemini 17. Soruyu cevaplandırırken önce yanlış bir çözüm yapmıştır ancak cevaptan emin olup olmadığı sorulduğunda ise “cevabımın bir kısmı hatalı, özür dilerim. Kaldırma kuvveti cismin ağırlığına eşittir ve cismin ağırlığı değişmediği için kaldırma kuvveti de değişmez. Doğru cevap A) azalır, değişmez” şeklinde cevabını düzeltmiştir. Benzer durum 19 ve 32. sorular için de gerçekleşmiştir. 19. Soruda Gemini önce soruyu yanlış cevaplandırmıştır. Daha sonra cevaptan emin olup olmadığı sorulduğunda ise “önceki cevaplarımda bazı hatalar yapmışım, özür dilerim. Soruyu tekrar dikkatlice inceledim ve doğru cevabın B) L olduğunu buldum” şeklinde eski cevabını düzeltmiştir. 32. soruda ilk durumda vermiş olduğu cevabı emin olup olmama durumu sorulduğunda değiştirmiştir.

ChatGPT ve Gemini Yapay Zeka Tabanlı Sohbet Uygulamalarının Çoktan Seçmeli Fizik Sorularına Verdikleri Cevapların Hata Kaynaklarının İncelenmesi

Çalışma kapsamında ChatGPT ve Gemini, çoktan seçmeli 49 sorusu cevaplandırmıştır. Şekil 3’de de ifade edildiği üzere ChatGPT çoktan seçmeli 24 soruyu, Gemini ise 23 soruyu yanlış cevaplandırmıştır. Yapay zeka tabanlı çoktan uygulamaların çoktan seçmeli sorulara verdiği yanlış cevapların nedenlerini tespit etmek amacıyla yanlış cevaplandırılan sorulara ChatGPT ve Gemini uygulamalarının vermiş olduğu cevaplar içerik analizi ile ayrı ayrı araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Araştırmacılar tarafından yanlış cevaplarla incelendiğinde; “yorumlama hatası”, “eksik bilgi”, “seçenekleri yanlış değerlendirme” ve “şekil-grafik-tablo yorumlama hatası” olmak üzere ChatGPT ve Gemini’nin çoktan seçmeli fizik sorularına vermiş oldukları yanlış cevapların nedenleri beş farklı kategoride toplanmıştır.

ChatGPT ve Gemini uygulamalarının yanlış cevaplandığı soruların hata kaynaklarına göre dağılımı Şekil 5’de ifade edilmiştir.

Şekil 5 ChatGPT ve Gemini Uygulamalarının Çoktan Seçmeli Sorulardaki Hata Kaynakları



Şekil 5 incelendiğinde; ChatGPT dört soruyu, Gemini ise dokuz soruyu yorumlama hatasından dolayı yanlış cevaplandırmıştır. Eksik bilgi kullanımından dolayı ChatGPT üç soruyu, Gemini ise iki soruyu yanlış cevaplandırmıştır. ChatGPT, beş soruyu yanlış kullanımından dolayı yanlış cevaplandırırken aynı hata kaynağında Gemini ise altı soruyu yanlış cevaplandırmıştır. ChatGPT beş sorunun seçeneklerini yanlış değerlendirirken Gemini ise iki sorunun cevap seçeneklerini yanlış değerlendirmiştir.

ChatGPT dokuz soruda, Gemini ise dört soruda yer alan şekil, grafik veya tabloların yorumlamada hata yapmıştır.

Çoktan seçmeli sorularda verilen bilgiler veya sorunun çözümünde kullanılan açıklamalarla ilgili bilgilerin yapay zeka tabanlı uygulamalar tarafından yanlış şekilde ifade edilmesi durumu “yorumlama hatası” olarak değerlendirilmiştir. Örneğin ChatGPT tarafından cevaplandırılan 41. soruda bir ışık kaynağından çıkan ışınlarla belirlenen bir noktadaki aşık akısı ve aydınlanma şiddetinin işlemler sonucu nasıl değiştiği sorulmaktadır. Bu işlemlerden bir tanesi abajurun zincirinin kısaltılmasıdır. Abajurun zinciri kısaltıldıkça abajurun zeminde bulunan K noktasına daha uzakta olması beklenmektedir. Ancak ChatGPT bu durumu; *“zincir kısaltıldıkça ışık kaynağı K noktasına daha yakın olur. Uzaklık azaldığı için aydınlanma şiddeti artar”* şeklinde belirtmiştir. Sorudaki ifadelere göre K noktasında azalması gereken aydınlanma şiddeti ChatGPT’nin yorumlama hatası nedeniyle yanlış cevaplandırılmıştır. Gemini uygulaması 21. soruyu yorumlarken birinci seçeneğini; *“ilk durumda oluşan görüntüye göre daha büyüktür. Yanlış. Düzlem aynada görüntü boyu cismin boyuna eşittir. Ortamın değişmesi görüntünün boyutunu etkilemez”* şeklinde yorumlamış olmasına rağmen ikinci seçenekte; *“kırılma nedeniyle, kişi aynaya olduğundan daha yakınmış gibi görünür. Dolayısıyla, su içindeyken oluşan görüntünün aynaya olan uzaklığı, havadayken oluşan görüntünün aynaya olan uzaklığından fazladır”* ilk seçeneğin aksine bir durum belirtmiştir. Bu durum yorumlama hatası olarak değerlendirilmiştir.

Kavramsal düzeyde bilgi eksikliğinin neden olduğu yanlış cevaplar, araştırmacılar tarafından “eksik bilgi” olarak değerlendirilmiştir. Örneğin 16. soruda bir otomobille çöp kovanın çarpışması sonucu ivmeleriyle ilgili değerlendirme yapılması istenmiştir. Gemini uygulaması bu soruyu cevaplandırırken; *“kovanın ivmesi daha büyük olduğu için, hızındaki değişim de daha*

büyük olacaktır. Ancak bu, kovanın son hızının otomobilinkinden daha büyük olacağı anlamına gelmez” yorumunu yaparken ChatGPT ise “*çarpışma anında hızlar hakkında yorum yapılamaz*” şeklinde değerlendirmiştir. Her iki uygulama bu soruyu cevaplandırırken ivme kavramına odaklanması gerekirken otomobil ve çöp kovanın hızlarıyla ilgili yorum yaparak soruyu yanlış cevaplandırmışlardır.

Yanlış kavramsal bilgilerden dolayı araştırma kapsamında kullanılan yapay zeka uygulamalarının yanlış cevaplandığı soruların cevapları “yanlış bilgi” kategorisinde yer almıştır. Örneğin 44. soruya hem ChatGPT hem de Gemini tarafından verilen cevaplar yanlış bilgi kategorisinde değerlendirilmiştir. Bu soruda yatay zeminde kütleleri ve sürtünme katsayıları farklı olan cisimlere eşit büyüklükte kuvvet uygulanması sonucu cisimlerin hareket etmediği belirtilerek cisimlere etki eden statik sürtünme kuvvetlerinin büyüklükleri sorulmuştur. ChatGPT soruyu cevaplandırırken statik sürtünme kuvvetini $f_s = k \cdot N$ şeklinde tanımlayarak cisimler için ayrı ayrı statik sürtünme kuvveti hesaplamıştır. Bunun sonucunda cevabın “D” seçeneği olduğunu belirterek $f_k = f_L < f_M$ şeklinde ifade etmiştir. Aynı şekilde Gemini “*her bloğa etki eden statik sürtünme kuvveti, o bloğu hareket ettirmek için gereken minimum kuvvete eşittir. Bu minimum kuvvet, statik sürtünme katsayısı ve kütlenin çarpımıyla orantılıdır*” şeklinde açıklamaları ifade edip doğru seçeneğin “D” olması gerektiğini belirtmiştir. Oysaki cisimlere etki eden statik sürtünme kuvvetlerinin büyüklüğü “etki-tepki yasası” sebebiyle eşit büyüklükte olması gerekmektedir. Bu kapsamda her iki uygulamanın 44. soruda yanlış bilgi kapsamında hata yaptığı tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılan yapay zeka uygulamaları ChatGPT ve Gemini’nin çoktan seçmeli sorulardaki tablo, grafik veya şekilleri yorumlayamamasından dolayı yanlış cevaplandığı sorular “şekil-grafik-tablo yorumlama hatası” kategorisinde değerlendirilmiştir. Örneğin yedi ve 24. sorular bu kapsamda her iki

uygulama tarafından yanlış cevaplandırılmıştır. Yedinci soruda ışığın kırılması ile ilgili farklı kırıcılık indislerine sahip ortamlarda ışığın izleyebileceği yollar sorulmuştur. Her iki uygulamada şekilde belirtilen gelen ışının uzantısını yüzeyin normali olarak algılamış ve soruyu yanlış cevaplandırmıştır. 24. soruda ise bir römork üzerinde bulunan yük miktarı ve teker sayısına göre basınç değerlendirmesi yapılması istenmiştir. Her iki uygulama bu sorunun üçüncü seçeneğinde yük miktarının azalmasını dikkate almış olmasına rağmen teker sayısının da azaldığına dikkat etmeyip soruyu yanlış cevaplandırmıştır. Özellikle her iki uygulamanın da elektrik devreleriyle ilgili sorularda (12, 19 ve 40. sorular), lambaların bağlanma türleri, lamba parlaklıkları ve kısa devreleri tespit etmekte eksik kaldıkları görülmüştür. ChatGPT uygulamasının özellikle grafiklerin yorumlanması ve verilerin kullanılması noktalarında hataları olduğu tespit edilmiştir. İkinci soruda bir araca ait yol-zaman tablosundaki verileri kullanıp sürat-zaman grafiğinin nasıl olması gerektiği sorulmuştur. ChatGPT soru yer alan tablodaki verilerden aracın süratini hatalı hesaplamıştır. Benzer şekilde 36. soruda kütle-hacim grafiğini kullanarak dört farklı gazın özkütlelerini karşılaştırırken de hata yapmıştır.

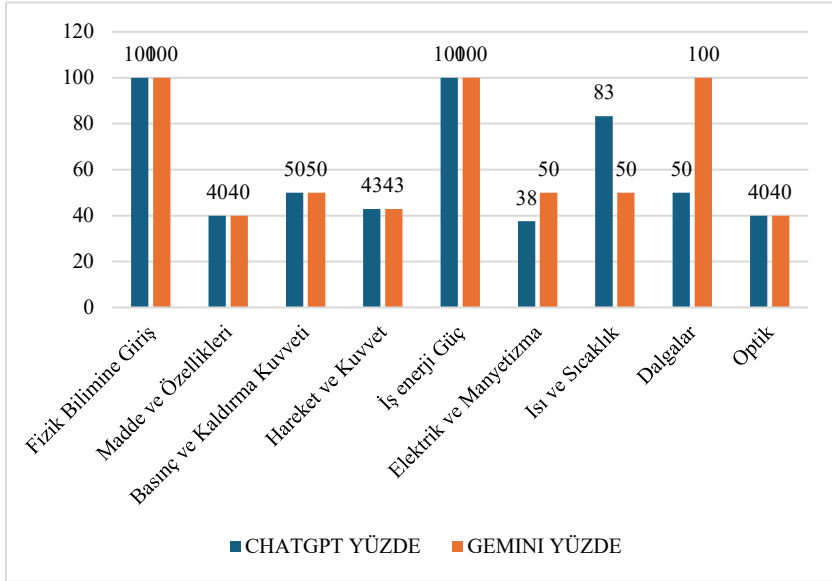
ChatGPT ve Gemini uygulamalarının çoktan seçmeli soruları cevaplandırırken seçeneklerin yerini değiştirmesi veya asıl ifadeleri değiştirmesi sonucunda yapmış olduğu hatalar “seçenekleri yanlış değerlendirme” olarak değerlendirilmiştir. Örneğin 38. soruda elektrik güçleri verilen ve eşit süre çalıştırılan akkor flamanlı, led ve florasan lambanın elektriksel güçlerinin karşılaştırılması istenmiştir. ChatGPT bu soruyu cevaplandırırken kavramsal açıklamaları ve karşılaştırmaları doğru yapmış ve açıklamaları “*bu sorunun doğru cevabı C) $E_i > E_m > E_n$ olacaktır*” şeklinde ifade etmiştir. Ancak sorunun asıl halindeki “C” seçeneği ChatGPT’nin belirttiği seçenekten farklı olarak; “ $E_i > E_n = E_m$ ” şeklindedir. Bu durum ChatGPT uygulamasının çoktan seçmeli soruları cevaplandırırken

seçeneklerini değiştirebildiğini göstermektedir. Gemini uygulaması da 41. soruyu cevaplandırırken yapılan işlemler sonucu akının değişeceğini ve doğru seçeneğin “A” seçeneğinde bulunan “işlem sonunda abajur yüzeyinden geçen toplam ışık akısı (Φ) artar” ifadesinin olduğunu belirtmiş olmasına rağmen açıklamalarında yapılan işlem sonucunda “*abajur yüzeyinden aynı miktarda ışık geçmesine rağmen, daha küçük bir alana yayılacağı anlamına gelir. Yani ışık daha yoğunlaşır. Ancak abajur yüzeyinden geçen toplam ışık miktarı (ışık akısı) değişmez, çünkü ışık kaynağı aynı ve abajur saydam*” açıklamasını yapmıştır. Bu kapsamda Gemini uygulaması da soruları cevaplandırırken yaptığı açıklamalarla cevap seçeneklerini arasında uyum olmadığđ durumlar olduğu anlaşılmaktadır.

ChatGPT ve Gemini Yapay Zeka Tabanlı Sohbet Uygulamalarının oktan Seçmeli Fizik Sorularına Verdikleri Cevaplara Göre Fizik nitelerindeki Performansının İncelenmesi

Yapılan alışma kapsamında yapay zeka tabanlı sohbet uygulamalarına yneltlen çoktan seçmeli sorular; fizik ğretim programındaki “fizik bilimine giriş”, “madde ve özellikleri”, “basınç ve kaldırma kuvveti”, “hareket ve kuvvet”, “iş enerji ve g”, “elektrik ve manyetizma”, “ısı ve sıcaklık”, “dalgalar” ve “optik” olmak üzere sekiz farklı üniteyi kapsamaktadır. ChatGPT ve Gemini uygulamalarının cevaplandırıđđ sorular kapsamında fizik ünitelerindeki başarı durumu şekil 6’da ifade edilmiştir.

Şekil 6. ChatGPT ve Gemini uygulamalarının fizik ünitelerindeki başarı yüzdeleri

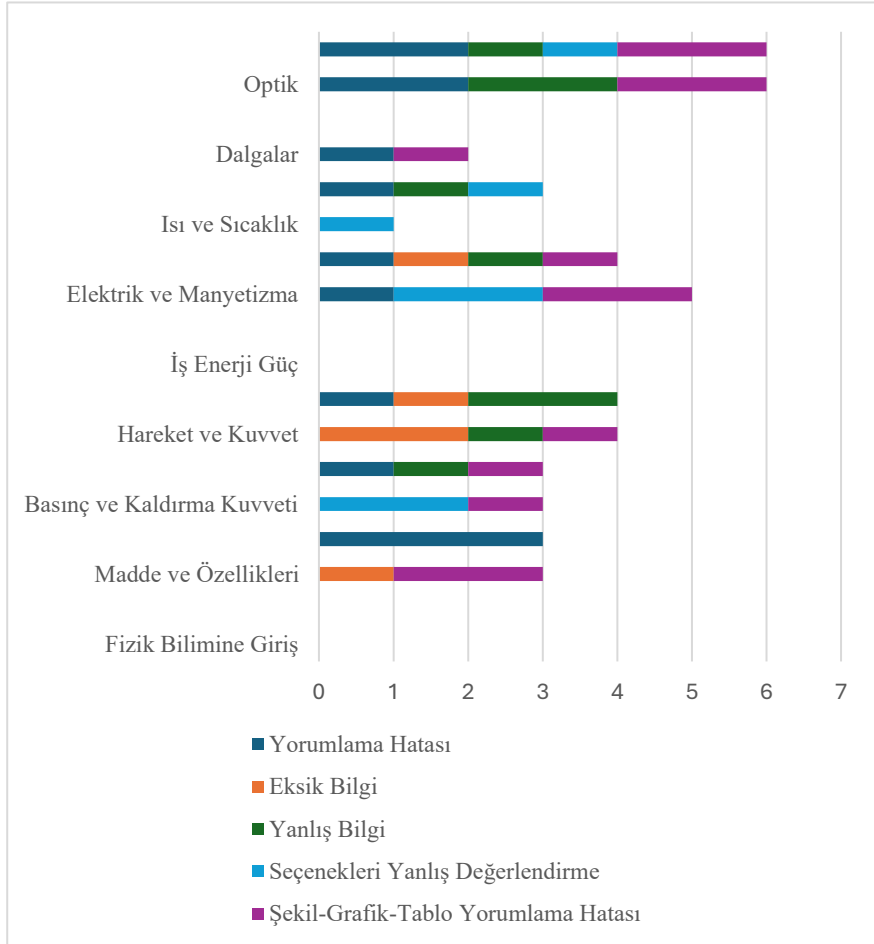


Şekil 6 incelendiğinde her ChatGPT ve Gemini uygulamalarının “fizik bilimine giriş” ve “iş enerji ve güç” ünitelerindeki soruların tümüne doğru cevap vermiştir. “Madde ve özellikleri”, “basınç ve kaldırma kuvveti”, “hareket ve kuvvet” ve “optik” ünitelerindeki başarı yüzdelerinin aynı olduğu görülmektedir. İncelenen üniteler arasında ise “madde ve özellikleri” ve “optik” üniteleri başarı yüzdeleri olarak en düşük (%40) ünitelerdir. “Elektrik ve Manyetizma” ünitesinde ChatGPT’nin başarı yüzdesi (%38), Gemini’den (%50) daha düşükken, “ısı ve sıcaklık” ünitesinde ChatGPT başarı yüzdesi (%83), Gemini’nin başarı yüzdesinden (%50) daha fazladır. “Dalgalar” ünitesinde ise Gemini uygulaması tüm sorulara doğru cevap verirken ChatGPT uygulamasının başarı yüzdesi %50 olduğu görülmektedir.

ChatGPT ve Gemini’nin fizik ünitelerindeki başarı yüzdeleri araştırmasında, ünitelere göre hata kaynakları da bu başarı

yüzdelерinin daha anlamlı bir şekilde yorumlanması sağlayacaktır. ChatGPT ve Gemini uygulamalarının fizik ünitelerine göre hata kaynaklarının dağılımları Şekil 7’de yer almaktadır.

Şekil 7 ChatGPT ve Gemini uygulamalarının fizik ünitelerine göre hata kaynakları



Şekil 7 incelendiğinde, her iki yapay zeka uygulamasının da en fazla hata yaptığı ünite olan optik ünitesinde soruların yanlış cevaplandırılmasında şekil, grafik ve tabloların yorumlamasından kaynaklı hatalar olduğu görülmektedir. Elektrik ve manyetizma

ünitesinde ChatGPT'nin yorumlama ve seçenekleri yanlış değerlendirme hataları yaptığı, Gemini uygulamasının ise yorumlama hatalarının yanında eksik bilgi kaynaklı hatalar yaptığı değerlendirilmiştir. Madde ve özellikleri ünitesinde Gemini uygulaması yanlış cevaplandığı soruların hata kaynağı yorumlama hatası iken ChatGPT bu ünite de eksik bilgi ve şekil-grafik-tablo yorumlama hatası yapmıştır. Basınç ve kaldırma kuvveti ünitesinde ChatGPT iki soruyu seçenekleri yanlış değerlendirme bir soruyu ise şekil-grafik-tabloları hatalı değerlendirmesi sonucu yanlış cevaplandırmıştır. Gemini uygulaması ise birer soruda yorumlama hatası, yanlış bilgi ve şekil-grafik-tabloları yanlış değerlendirme hatası yapmıştır. Hareket ve kuvvet ünitesinde eksik bilgi, yorumlama hatası, yanlış bilgi ve şekil yorumlamaya dayalı hatalar olduğu görülmektedir. Bu ünite de iki uygulamanın yaptığı hataların çoğunluğunu eksik bilgi ve yanlış bilgi oluşturmaktadır. Şekil 6'da de görüldüğü üzere fizik bilime giriş ve iş enerji güç ünitelerinde iki yapay zeka uygulaması da hata yapmamıştır.

Tartışma Sonuç ve Öneriler

Yapay zeka sohbet uygulamaları olan ChatGPT ve Gemini'nin çoktan seçmeli fizik sorularındaki performansının incelendiği bu çalışmasının bulgularından ulaşılan sonuçlarına göre; 49 çoktan seçmeli fizik sorusuna verdiği cevaplara göre Gemini uygulaması ChatGPT uygulamasına göre başarılıdır. Gemini uygulaması 26 soruyu doğru cevaplandırmış ve doğru cevaplandığı sorulardan yalnızca bir tanesini emin olmadan cevaplandırmıştır. Gemini uygulaması yanlış cevaplandığı sorulardığı dört sorudan emin değildir. ChatGPT 25 soruyu doğru cevaplandırmış ve doğru cevaplandığı tüm soruların cevabından emindir. Ayrıca yanlış olarak cevaplandığı soruların bir tanesinden emin değildir. Bu sonuca göre; ChatGPT ve Gemini uygulamaları, çoktan seçmeli fizik sorularına vermiş oldukları doğru cevaplarından genellikle emindir. Ayrıca yanlış olarak

cevaplandıkları sorulardan emin olmadıkları durumlar olmakla beraber yanlış cevaplandırılan soruların cevaplarından da emin oldukları durumlar daha fazladır. ChatGPT ve Gemini uygulamaları cevaplandığı çoktan seçmeli soruların cevaplarından emin olmadıkları durumda bir önceki verdiği cevabı değiştirdiği veya yanlış olan farklı bir açıklama yaptığı da araştırma sonucundan elde edilmiştir. Tablo 2’den elde edilen sonuçlarından birisi de aynı 15 soru her iki yapay zeka uygulaması tarafından doğru cevaplandırılırken, aynı 13 soru ise her iki yapay zeka uygulaması tarafından yanlış cevaplandırılmıştır. Geri kalan 21 soru ise, yapay zeka uygulamalarından biri tarafından doğru cevaplandırırken diğer uygulama tarafından yanlış cevaplandırılmıştır.

Araştırma kapsamında yapay zeka uygulamalarının çoktan seçmeli sorulara vermiş cevaplar ayrıntılı incelenerek ChatGPT uygulamasının yanlış cevaplandığı 24 sorunun cevabı ve Gemini uygulamasının yanlış cevaplandığı 23 sorunun cevabı ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. ChatGPT ve Gemini uygulamalarının sorulara vermiş olduğu yanlış cevaplar beş farklı kategoride toplanmıştır. ChatGPT’nin hata kaynakları kategorik olarak değerlendirildiğinde; şekil, tablo ve grafiklerin yorumlanması, soruların seçeneklerinin yanlış değerlendirilmesi ve soruların yanlış yorumlanması başlıca hata kaynağı olarak değerlendirilmiştir. Gemini uygulamasının yanlış cevapları incelendiğinde ise; yorumlama hatası ve yanlış bilgilerden ötürü soruları yanlış cevaplandığı sonucuna varılmıştır.

ChatGPT ve Gemini uygulamalarının fizik ünitelerinde çoktan seçmeli sorularda başarısı değerlendirildiğinde fizik bilimine giriş ünitesi ve iş enerji güç ünitesinde her iki uygulamanın tam başarılı olduğu görülürken optik ve madde ve özellikleri ünitelerinde ise her iki uygulamanın başarısının düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Isı ve sıcaklık ünitesinde ChatGPT uygulaması daha başarılı iken elektrik ve manyetizma, dalgalar ünitesinde ise Gemini

uygulaması daha başarılıdır. ChatGPT ve Gemini uygulamalarının fizik ünitelerindeki çoktan seçmeli sorulara vermiş olduğu hatalı cevapların kaynakları incelendiğinde ise; optik ünitesinde soruyu yorumlama hatası ve tablo-şekil-grafiklerin yapay zeka uygulamaları tarafından yanlış yorumlandığı sonucuna ulaşılmıştır. Benzer sonucuna madde ve özellikleri ünitesi içinde ulaşılabilir. Elektrik ve manyetizma ünitesinde ChatGPT sorunun seçeneklerini yanlış değerlendirdiği için hata yaparken hareket ve kuvvet ünitesinde ise sorunun cevabına ilişkin eksik bilgiden kaynaklı hatalar yapmıştır.

Çalışmanın sonuçları değerlendirildiğinde ChatGPT ve Gemini uygulamalarının çoktan seçmeli sorularda hemen hemen %50 civarında başarılı olduğu görülmüştür. Şensoy ve Çıtırık'ın (2025) yapmış oldukları çalışmada benzer sonuçlar elde edilmiştir. Dil farklılıklarının araştırıldığı çalışmada çoktan seçmeli Türkçe ve İngilizce sorularında ChatGPT ve Gemini uygulamaları %52,8 başarı elde etmiştir. Yapay zeka uygulamalarının açık uçlu sorulardaki başarısını inceleyen çalışmalarda ise başarı oranı %60 üzerinde olduğu değerlendirilebilir. Geerling vd., (2023) sohbet robotlarının mikroekonomi açık uçlu sorulardaki performansını incelediği çalışmasında ChatGPT'nin başarısının %63,3 olduğunu makroekonomi testindeki açık uçlu sorularda ise başarısının %86,7 olduğunu ifade etmiştir.

Yapay zeka tabanlı sohbet robotlarının yöneltilen soruların cevaplarını web'de arayarak oluşturmaktadır. İnternet ortamında doğru bilgiler olduğu kadar yanlış bilgiler olması yapay zeka tabanlı sohbet robotlarının sorulara yanlış cevaplar üretmesinin ana kaynağını oluşturmaktadır (Acar-Sesen ve İnce, 2010). Yapılan çalışma kapsamında ChatGPT ve Gemini uygulamalarının çoktan seçmeli sorulara vermiş olduğu yanlış cevaplar beş farklı kategoride toplanmıştır. Elde edilen bu sonuçlar alan yazındaki diğer çalışmalarla da uyumludur. Yalçın-Çelik ve Çoban (2023) yapmış

oldukları çalışmada açık uçlu kimya sorularına ChatGPT ve Gemini uygulamalarının vermiş oldukları yanlış cevapların hata kaynaklarını eksik bilgi, yanlış bilgi ve yorumlama hatası olarak ifade etmişlerdir. Ayrıca Clark (2023) sohbet robotlarının vermiş oldukları yanlış cevapları açıklarken öğrencilerdeki yanlış kavramların sohbet robotlarında da olabileceğinin çok doğal olduğunu ifade etmiştir. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak ChatGPT ve Gemini uygulamalarının şekil-grafik ve tablo yorumlamadaki eksiklikleri de ortaya çıkarılmıştır.

Araştırmadan elde edilen sonuçlara göre; yapılan bu çalışmanın farklı yapay zeka tabanlı sohbet uygulamalarıyla yapılması, farklı branşlar için açık uçlu sorularda yapay zeka tabanlı uygulamalarının performansının araştırılması önerilmiştir.

Kaynakça

Acar Sesen, B., & İnce, E. (2010). Internet as a source of misconception: "Radiation and radioactivity". *Turkish Online Journal of Educational Technology - TOJET*, 9(4) 94-100.

AlAfnan, M. A., Dishari, S., Jovic, M., & Lomidze, K. (2023). ChatGPT as an educational tool: Opportunities, challenges, and recommendations for communication, business writing, and composition courses. *Journal of Artificial Intelligence and Technology*, 3(2), 60-68. doi:<https://doi.org/10.37965/jait.2023.0184>

Bajcsy, A., Losey, D., O'Malley, M., & Dragan, A. D. (2017, October). Learning robot objectives from physical human interaction. *Proceedings of the 1st Annual Conference on Robot Learning*, (pp. 217-226).

Clark, T. M. (2023). Investigating the use of an artificial intelligence chatbot with general chemistry exam questions. *Journal of Chemical Education*, 100(5), 1905-1916. doi:<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00027>

Coşkun, F., & Gülleroğlu, H. D. (2021). Yapay zekanın tarih içindeki gelişimi ve eğitimde kullanılması. *Ankara University Journal of Faculty of Educational Sciences (JFES)*, 54(3), 947-966. doi:<https://doi.org/10.30964/auebfd.916220>

Gallifant, J., Fiske, A., Strekalova, Y. A., Osorio-Valencia, J., Parke, R., Mwavu, R., . . . Pierce, R. (2024). Peer review of GPT-4 technical report and systems card. *PLOS digital health*, 3(1), 1-15. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pdig.0000417>

Geerling, W., Mateer, G. D., Wooten, J. & Damodaran, N. (2023). Is ChatGPT smarter than a student in principles of economics? SSRN *Electronic Journal*, 1-24. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4356034>

Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. Cambridge, MA, USA: The MIT Press.

Güzey, C., Çakır, O., Athar, M. H., & Yurdaöz, E. (2023). Eğitimde yapay zekâ üzerine gerçekleştirilmiş araştırmalardaki eğilimlerin incelenmesi. *Bilgi Ve İletişim Teknolojileri Dergisi*, 5(1), 67-78. doi:<https://doi.org/10.53694/bited.1060730>

Haladyna, T. M., Downing, S. M., & Rodriguez, M. C. (2002). A review of multiple-choice item-writing guidelines for classroom assessment. *Applied Measurement in Education*, 15(3), 309-333. doi:https://doi.org/10.1207/S15324818AME1503_5

İncemen, S., & Öztürk, G. (2024). Farklı Eğitim Alanlarında Yapay Zekâ: Uygulama Örnekleri. *International Journal of Computers in Education*, 7(1), 27-49.

Kaddouri , M., Mhamdi, K., Jabri, A., Boukare, M., & Jmad, S. (2025). Generative artificial intelligence and assessment of learning: challenges and perspectives. *Effective Instructional Design Informed by AI*, 277-326.

Kamalov, F., Calonge, S. D., & Gurrib, I. (2023). New era of artificial intelligence in education: towards a sustainable multifaceted revolution. *Sustainabilit*, 15(16). doi:<https://doi.org/10.3390/su151612451>

Kung, T. H., Cheatham, M., Medenilla, A., Sillos, C., Leon, L., Elepaño, C., . . . Tseng, V. (2023). Performance of ChatGPT on USMLE: Potential for AI-assisted medical education using large language models. *PLoS digital health*, 2(2). doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pdig.0000198>

Kurian, N., Varghese, V., & Wadhwa, S. (2023). ChatGPT fails in ORE. *British Dental Journal*, 448-449.

Lo, C. K. (2023). What is the impact of ChatGPT on education? A rapid review of the literature. *Education sciences*, 13(4), 410. doi:<https://doi.org/10.3390/educsci13040410>

Nabiyev, V. V. (2012). *Yapay zeka: insan-bilgisayar etkileşimi*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.

Pande, A., Patil, R., Mukkemwar, R., Panchal, R., & Bhoite, S. (2024). Comprehensive study of Google Gemini and text generating models: Understanding capabilities and performance. *Grenze International Journal of Engineering & Technology (GIJET)*, 10, 856-863.

Popenici, S. (2023). The critique of AI as a foundation for judicious use in higher education. *Journal of Applied Learning and Teaching*, 6(2), 378-384.

Rudolph, J., Tan, S., & Tan, S. (2023). ChatGPT: Bullshit spewer or the end of traditional assessments in higher education? *Journal of applied learning & teaching*, 6(1), 342-363.

Russell, S. J., & Norving, P. (1995). *Artificial Intelligence: A Modern Approach (4th ed.)*. Pearson.

Seyrek, M., Yıldız, S., Emeksiz, H., Şahin , A., & Türkmen, M. T. (2024). öğretmenlerin eğitimde yapay zeka kullanımına yönelik algıları. *International Journal of Social and Humanities Sciences Research (JSHSR)*, 11, 845-856. doi:<https://doi.org/10.5281/zenodo.11113077>

Suta, P., Lan, X., Wu, B., Mongkolnam, P., & Chan, J. H. (2020). An overview of machine learning in chatbots. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 9(4), 502-510. doi:<https://doi.org/10.18178/ijmerr.9.4.502-510>

Şensoy, E., & Çıtırık, M. (2025). ChatGPT-3.5, copilot ve gemini'nin oküler inflamasyon ve üveit konusundaki çoktan seçmeli sorularda performans analizi: Dil farklılıklarının etkisi: kesitsel

araştırma. *Turkiye Klinikleri Journal of Ophthalmology*, 34(1), 12-16.

şensoy, E., şensoy, M., & çıtırık, M. (2025). Dil farklılıklarının ChatGPT-3.5, Copilot ve Gemini'nin pediatrik oftalmoloji ve şaşılık çoktan seçmeli sorulardaki etkinliğinin değerlendirilmesi. *Anatolian Clinic the Journal of Medical Sciences*, 30(2), 262-267.

Yalçın elik, A., & oban, . K. (2023). Kimya sorularının cevaplanmasında yapay zekâ tabanlı sohbet robotlarının performansının incelenmesi. *Türk Eğitim Bilimleri Dergisi*, 21(3), 1540-1561. doi:10.37217/tebd.1361401

Yıldırım, A., & şimşek, H. (2014). *Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri*. Ankara: Senkin Yayıncılık.

BÖLÜM 3

YAPAY ZEKA VE EĞİTİM İLE İLGİLİ BİBLİYOMETRİK ÇALIŞMA

HALİL UĞUR TAŞDEMİR¹

Giriş

Yapay zekâ (YZ), algılama, dil anlama, problem çözme, öğrenme ve karar verme gibi bilişsel yetenekleri gerçekleştirebilen bilgisayar sistemleri ve algoritmalarının geliştirilmesini amaçlayan, insan zekâsını taklit eden bir alandır (Russell & Norvig, 2021). YZ' nin bilişsel yetenekleri gerçekleştirebilmesi özellikle eğitim alanındaki önemi arttırmıştır (Güzey, Çakır, Athar, & Yurdaöz, 2023). YZ' nin eğitimde bireyselleştirilmiş öğrenmeyi destekleme, öğrenme sürecinin öğretmenler için daha verimli olmasını sağlama, anlık geribildirim alma gibi faydalara sahip olduğunu Chiu ve arkadaşlarının (Chiu, Xia, Zhou, Chai, & Cheng, 2023) yaptığı çalışmadan anlamaktayız. Eğitim toplumun ihtiyaçlarına ve günün şartlarına göre şekil alabilen dinamik bir süreçtir. Bu süreçte eğitimin, toplumdan ve gelişen teknolojiyen etkilenmesi ve aynı zamanda toplumu ve teknolojiyi etkilemesi kaçınılmaz bir gerçektir. Yani eğitim süreci bir taraftan toplumu ve teknolojiyi etkilerken bir

¹ Dr.Öğr. Üyesi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi, Fizik Eğitimi Bölümü, Orcid: 0000-0002-6205-0092

tarafından da toplum ve teknolojiye etkilenmektedir. Bu iç içe geçmiş durumda bu etkenlerden herhangi bir tanesinde değişiklik diğer iki etkeni de dolaylı ya da direkt etkilemektedir.

Covid 19 salgının uzaktan eğitimi hayatımıza getirmesi ile birlikte YZ' nin eğitimde kullanılmasına olan eğilim artmıştır (Yeşilyurt, Dündar, & Aydın, 2024). Yapay zekanın eğitimde kullanılması ile ilgili çalışmalar da son yıllarda artmaktadır. Yüksek öğretimde yapay zekanın kullanımı ile ilgili Hinojo-Lucena, Aznar-Díaz, Cáceres-Reche ve Romero-Rodríguez (Hinojo-Lucena, Aznar-Díaz, Cáceres-Reche, & Romero-Rodríguez, 2019) 2019 yılında bir çalışma yayınlamışlardır. Öğrenme performansının, bilgi düzeyinin, öğrenme tercihlerinin, öğrenme stillerinin, bilişsel, duyuşsal ve kültürel faktörlerin uyarlanabilir öğrenme için kullanılabileceğini Yang ve Zhang'ın çalışması (Yang & Zhang, 2019) göstermektedir. Roll ve Wylie'nin (Roll & Wylie, 2016) 2016 yılında yapmış oldukları çalışmada, yapay zekanın eğitimde kullanımı ile ilgili gelecek yıllarda yapılacak çalışmalarda iki araştırma dalına odaklanılması gerektiğini savunmuşlardır. Bunlar ilki öğretmenlerle işbirliği yaparak mevcut sınıf ortamının yapay zekaya entegrasyonu, diğeri de öğrencilerin günlük yaşamlarında teknolojiyi verimli kullanabilmeleridir. Zawacki-Richter ve arkadaşlarının (Zawacki-Richter, Marín, Bond, & Gouverneur, 2019) 2019 yılında yükseköğretimde yapay zekâ üzerine yapılan araştırmaları incelediler ve makalelerin çoğunun, "yapay zekâ destekli eğitimin zorlukları ve riskleri üzerine eleştirel bir yansıma eksikliğinin olduğu sonucuna varmışlardır. Göksel ve Bozkurt (Göksel & Bozkurt, 2019) yaptıkları çalışmada özellikle yapay zekanın insanlara ait verileri nasıl kullanılacağına dair bir etik politikanın oluşturulması gerektiğine ve bundan sonra eğitime entegre edilmesi gerektiğinin savunmuşlardır.

Yöntem

Bibliyometrik analiz çeşitli veri tabanlarından elde edilen bilimsel literatürü incelemek, verileri değerlendirmek ve görsel bir haritalandırma yapmak için kullanılan bir nicel yöntemdir (Hallinger & Kovačević, 2019). Araştırmacılar, bibliyometrik yöntemlerle araştırma eğilimlerini ve konularını etkili bir şekilde belirleme ve gruplandırma yapabilirler (Huang et al., 2020; Zupic & Čater, 2015). Bibliyometrik yaklaşım dergilerdeki bilimsel çıktıların yıllık atıf sayıları, önde gelen ülkeleri, yazarların verimliliği ve anahtar kelimelerin kullanılma sıklığı gibi istatistik bilgiler sunar (Öztürk, Kocaman, & Kanbach, 2024).

Çalışmanın amacı ve sınırlılıkları

Bu çalışmanın amacı; 2025-2021 yılları arasında eğitim ve yapay zekâ konusu ile ilgili Web of Science (WoS) veri tabanında yayınlanmış 666 makaleyi, yıl, yazar, atıf, anahtar kelime, ülke ve iş birlikleri gibi faktörler açısından incelemektir.

Çalışmanın sınırlılıkları ise şu şekildedir: Bu çalışmada WOS veri tabanı kullanılmıştır. WoS veri tabanında ‘eğitim ve yapay zeka ya da eğitimde yapay zekâ’ kelimeleri ile arama yapılmıştır. Çalışmada sadece makaleler değerlendirmeye alınmıştır. SSCI, SCI-Expanded ve AHCI indekslerinde yayınlanmış makaleler seçilmiştir. Sadece İngilizce dilinde yayınlanmış makaleler seçilmiştir. Ayrıca sürdürülebilir amaçlardan sadece eğitim kalitesi ile ilgili amaca sahip olan makaleler seçilmiştir.

Veri Analizleri

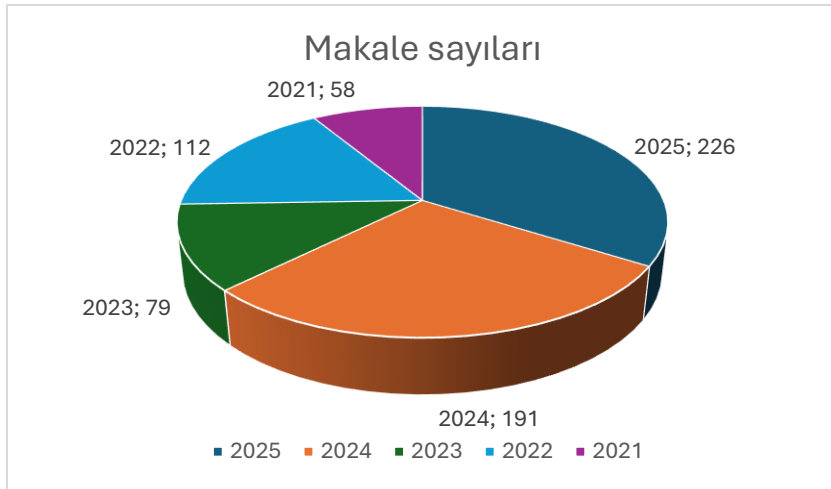
WoS’tan elde edilen verilerin analizi ve haritalandırılması için kullanılan yazılımlardan bir tanesi de VOSviewer dır (Moral-Muñoz, Herrera-Viedma, Santisteban-Espejo, & Cobo, 2020). Bu çalışmada ortak yazarlık, ortak atıf gibi analizler VOSviewer kullanılarak görselleştirilmiştir. Bu çalışmada ortak yazarlığın; yazarlar ve ülkeler ile olan ilişkileri, ortak anahtar kelimelerin kullanımı, bibliyografik eşleştirmenin; yazarlar, makaleler ve ülkeler

ile olan ilişkileri ve son olarak atıfların; yazarlar, makaleler ve ülkeler ile olan ilişkileri VOSviewer ile analiz edip görselleştirilmiştir.

Bulgular

Grafik 1, çalışmanın sınırlılıklarında bahsedilen kriterlere göre yapılan arama sonucunda WoS veri tabanında elde edilen 2021-2025 tarihleri arasındaki makale sayılarını göstermektedir.

Grafik 1 Yıllara göre yapılan makale sayısı



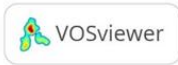
Grafik 1'e göre eğitim ve yapay zekâ konusu ile ilgili yapılan makale çalışmaları zamanla artmaktadır. Bu artışın önemli nedenlerinden bir tanesi yapay zekanın hayatımıza daha çok girmesidir.

Tablo 1 Makale sayısına göre ilk on ülke

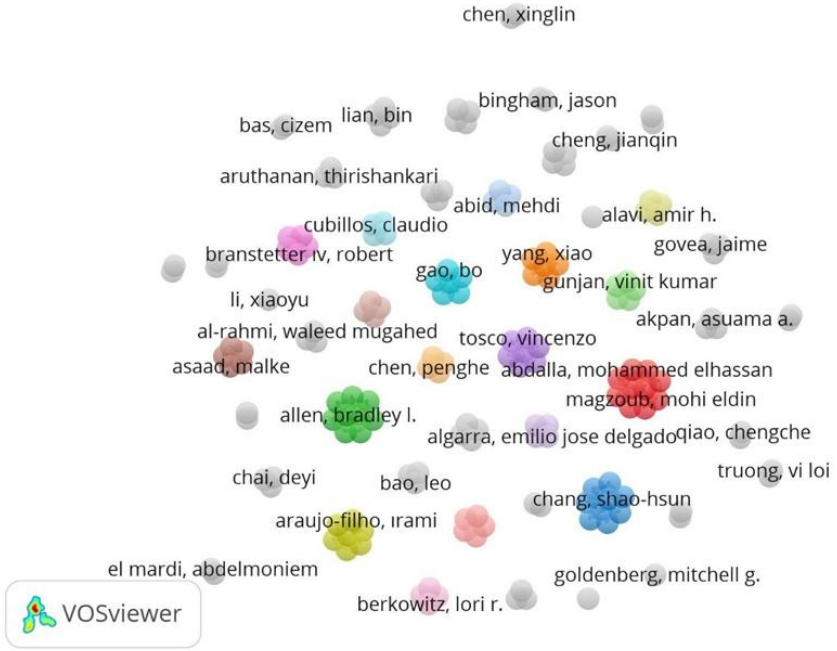
Ülke	Makale sayısı	Atıf	Toplam bağlantı Gücü (TBG)
Çin (Chineseese)	15	215	7
ABD (USA)	14	196	8
Güney Kore (North Korea)	4	64	2
Birleşik Arap Emirlikleri (United Arab Emirates)	3	27	5
Suudi Arabistan (Saudi Arabia)	3	35	4
Hindistan (India)	2	54	3
Tayvan (Taiwan)	2	46	2
Avustralya (Australia)	2	39	1
Ekvator (Ecvador)	2	19	1
Brezilya (Brazil)	2	3	0

Tablo1 ve Şekil 2, makale sayısı en fazla olan ilk on ülkeyi ve bu ülkeler arasındaki bağlantıları göstermektedir. Tablo 1 oluşturulurken makale sayısı en az 2 olan ülkeler seçilmiştir. Tablo 1'e göre Çin ve Amerika Birleşik Devletleri bu alanda en fazla makale üreten ülkelerdir. Atıf sayılarına bakıldığında yine Çin ve Amerika Birleşik Devletleri bu alanda en fazla atıf alan ülkelerdir. Amerika Birleşik Devletleri'nin TBG değeri Çin'e göre daha fazladır. Makale sayısı, atıf sayısı ve TBG değerleri açısından, en üretken ülkeler Çin ve Amerika Birleşik Devletleridir.

Şekil 2 Makale sayısı en fazla olan ülkeler ve birbirleri ile bağlantıları



Şekil 3 En az 1 atıfa sahip olan yazarların toplam bağlantı gücünü gösteren kümeler



Şekil 3 bu alan ile ilgili çalışma yapmış toplam 184 yazardan en az 1 atıf almış 174 yazarın birbirleri ile bağlantılarını gösteren kümelerdir. 48 tane küme bulunmaktadır. Özellikle merkezde kırmızı, yeşil, mavi renkli kümelerdeki etkileşimlerin fazla olduğu Şekil 4 ten görülmektedir. Kırmızı küme de 10 yazarın TBG değerinin 9, yeşil küme de 9 yazarın TBG değerinin 8, mavi kümede 9 yazarın TBG değerinin yine 8 olduğu tespit edilmiştir. Makale sayıları ve en çok atıf alan ilk on yazar Tablo 2’de verilmiştir. İlk on yazar arasında bu alan ile ilgili iki makaleye sahip olan Huang, X.’in 61 atıf sayısı ile en fazla atıf alan yazardır ve TBG değeri 6 dır. Şekil 3’te turkuaz ile gösterilen kümededir. Tablo 2’ye göre Allen, B.L. ve arkadaşları atıf sayısına göre dokuzuncu sırada olmalarına rağmen TBG puanına göre ilk sıradadırlar. Şekil 4’e göre yeşil ile gösterilen bölge Allen, B.L. ve arkadaşlarını temsil etmektedir. Bu durum

Allen, B.L. ve arkadaşlarının diğer gruplara göre daha güçlü araştırma ortaklığına sahip olduğunu gösterir

Tablo 2 En çok atıf alan ilk on yazar

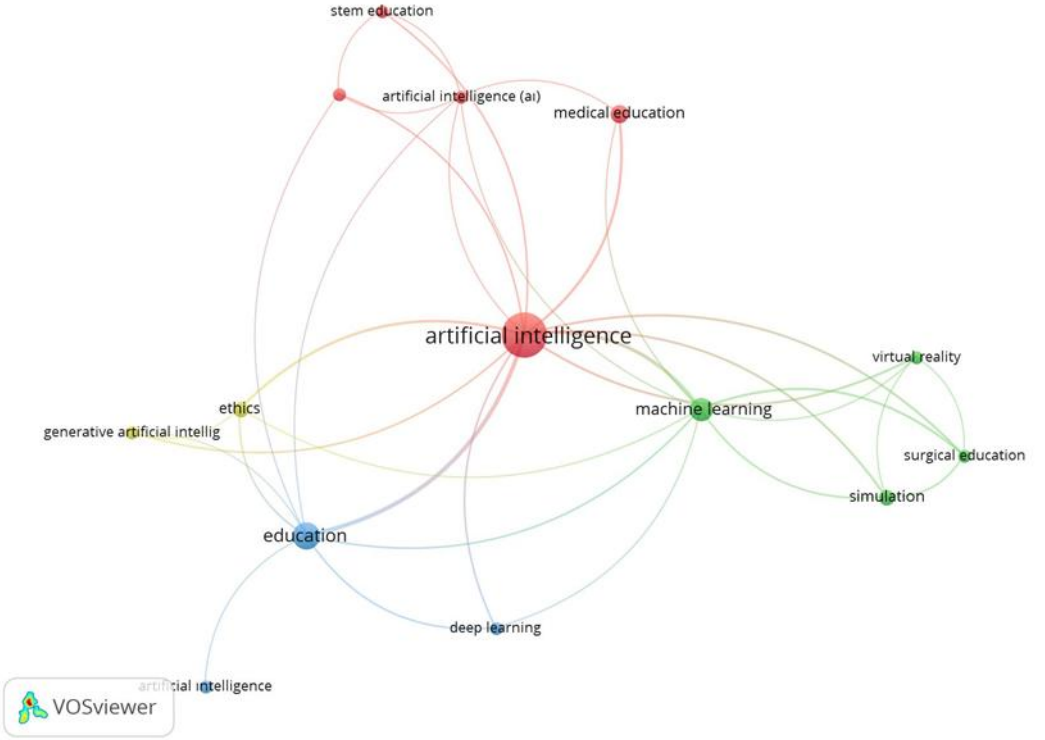
	Makale say.	Atıf Sayısı	TBG
Huang, X.	2	61	6
Asaad, M. ve ark.	1	59	4
Qiao, C.	1	56	1
Fraccastoro, F. ve ark.	1	55	6
Alavi, A.H. ve ark.	1	43	3
Chopra, H. ve ark.	1	34	4
Cooper, G. ve Tank, K.S.	1	31	1
Lin, Y. ve Yu, Z.	1	30	1
Allen, B.L. ve ark.	1	27	8
Alshememry, A.K. ve Alshumaimeri, Y.A.	1	26	1

Anahtar kelimelerin en fazla kullanımı ve TBG puanları Tablo 3'te verilmiştir. Anahtar kelimenin minimum tekrar sayısı 3 olacak şekilde filtreleme yapılarak elde edilen sonuçlardan Tablo 3 oluşturulmuştur. Anahtar kelimelerin birbirleri ile olan bağlantıları da Şekil 4'te verilmiştir.

Tablo 3 Makalelerde geçen anahtar kelimelerin tekrar sayıları ve TBG değerleri

Anahtar Kelime	Tekrar sayısı	TBG
yapay zeka (artificial intelligence)	32	43
eğitim (education)	12	20
makine öğrenimi (machine learning)	9	19
cerrahi eğitim (surgical education)	3	9
etik (ethics)	4	8
Simülasyon (simulation)	4	8
yapay zeka (ai)	3	6
medikal eğitim (medical education)	5	6
Sanal gerçeklik (virtual reality)	3	6
Derin öğrenme (deep learning)	3	5
Yüksek öğrenim (higher education)	3	5
Üretken yapay zekâ (generative artificial intelling)	3	4
stem eğitimi (stem education)	3	4
yapay zeka (artificial intelligence)	2	1

Şekil 4 En sık tekrar edilen anahtar kelimeler ve birbirleriyle bağlantı diyagramları



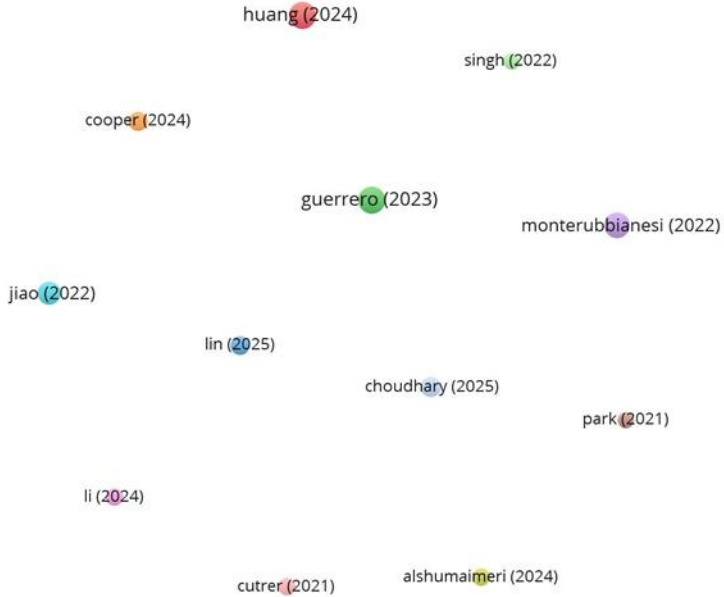
Tablo 3'e göre 'yapay zekâ' anahtar kelimesi 32 kez tekrar sayısı ve 43 TBG değeri ile en fazla tekrarlanma ve en büyük TBG değerine sahip anahtar kelimedir. Yapay zekâ anahtar kelimesinden sonra 12 tekrar sayısı ve 20 TBG değeri ile 'eğitim' anahtar kelimesi gelmektedir.

Minimum 20 atıf alan makaleler 12 tanedir ve Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4 En çok atıf alan makaleler

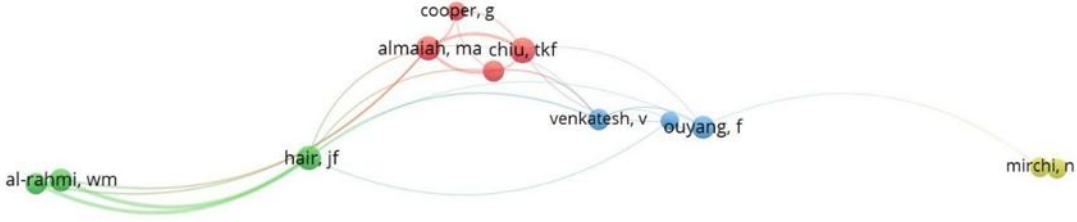
Makale	Atıf Sayısı
Guerrero (2023)	59
Huang (2024)	56
Monterubbianesi (2022)	55
Jiao (2022)	43
Choudhary (2025)	34
Cooper (2024)	31
Lin (2025)	30
Cutrer (2021)	27
Alshumaimeri (2024)	26
Li (2024)	25
Park (2021)	20
Singh (2022)	20

Şekil 5. En çok atıf alan çalışmalara sahip yazarlar



Tablo 4 ve Şekil 5'e göre en çok atıf alan makale Guerrero ve arkadaşlarının 2023 yılında yapmış olduğu çalışmadır. Guerrero ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışma Şekil 5'te yeşil ile gösterilen kümedir. Huang ve arkadaşlarının 2024 yılında yapmış olduğu çalışmada en fazla atıf alan ikinci çalışmadır ve Şekil 5'te kırmızı ile gösterilen kümedir. Tablo 2 ile Tablo 4 karşılaştırıldığında en çok atıf alan yazar Huang, X. tir ama makaleler göz önüne alındığında en çok atıf alan makale Guerrero'nun 2023 yılında yapmış olduğu makaledir.

Şekil 6 Alıntı yapılan yazarların ortak alıntı ilişkilerinin



VOSviewer

gösterimi

Şekil 6'ya göre 4 küme bulunmaktadır. TBG değerleri en yüksek olan ilk 12 yazar ve bu yazarların almış oldukları atıf sayıları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5 Alıntı yapılan yazarların ortak alıntıları ve toplam bağlantı gücü

Yazarlar	Atıflar	TBG
Al Rahmi, W.M.	8	96
Dahri, N.A.	7	91
Hair, J.F.	9	79
Almaiah, M.A.	9	67
Al-Adwan, A.S.	7	37
Chiu, T.K.F.	10	33
Venkatesh, V.	7	17
Cooper, G.	5	12
Ouyang, F.	8	11
Mirchi, N.	6	10
Roll, I.	5	10
Winkler-Schwartz, A.	6	9

Tablo 5’e göre TBG değeri en yüksek olan yazarlar Al Rahmi W. ve arkadaşlarıdır. Bu durumda iş birliğine en açık grubun Al Rahmi W. ve arkadaşları olduğu söylenebilir.

Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada WoS veri tabanında ‘eğitim ve yapay zekâ yada eğitimde yapay zeka’ kalıbı kullanılarak tarama yapılmıştır. Tarama sonuçları bazı sınırlılıklar kullanılarak filtrelenmiştir. Buna göre 666 makale çalışması tespit edilmiştir. Makale sayılarının yıllara göre arttığı gözlenmiştir. Bu da yapay zekâ ve eğitim ile ilgili çalışmaların ve bu alana ilginin giderek artacağı şeklinde yorumlanabilir. Makale sayısı ve atıf sayısı bakımından Çin birinci, ABD ikinci ülkeyken TBG değeri açısından ABD birinci Çin ikinci ülkedir. Buna göre bu konuda en fazla çalışmanın ve en fazla iş birliğinin olduğu ülkeler Çin ve ABD’dir. En çok atıf alan yazar Huang, X, iken en çok atıf alan makale Guerro ve arkadaşlarının 2023’te yazmış oldukları makaledir. TBG değeri en yüksek olan yazarlar Al Rahmi, W.M. ve arkadaşlarıdır. Buna göre iş birliğine en açık olan grubun bu grup olduğu söylenebilir.

Bibliyometrik çalışmalar geçmiş dönemlerde yapılan çalışmaların bir kısa incelemesi olduğu için gelecekte yapılacak çalışmalara kılavuzluk yapabilir. Araştırmacıların yapay zekanın eğitimle nasıl kullanıldığını bilmeleri gelecekte yapay zekanın eğitimde nasıl daha verimli kullanılabileceği hakkında bir fikir edinmelerine bu çalışma yardımcı olacaktır.

Kaynakça

Chiu, T. K. F., Xia, Q., Zhou, X., Chai, C. S., & Cheng, M. (2023). Systematic literature review on opportunities, challenges, and future research recommendations of artificial intelligence in education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 4, 100118. doi:<https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100118>

Goksel, N., & Bozkurt, A. (2019). Artificial Intelligence in Education: Current Insights and Future Perspectives. In S. Sisman-Ugur & G. Kurubacak (Eds.), *Handbook of Research on Learning in the Age of Transhumanism* (pp. 224–236). Hershey, PA, USA: IGI Global Scientific Publishing. doi:10.4018/978-1-5225-8431-5.ch014

Güzey, C., Çakır, O., Athar, M. H., & Yurdaöz, E. (2023). Eğitimde Yapay Zekâ Üzerine Gerçekleştirilmiş Araştırmalardaki Eğilimlerin İncelenmesi. *Bilgi ve İletişim Teknolojileri Dergisi*, 5(1), 67–78. doi:10.53694/bited.1060730

Hallinger, Philip, & Kovačević, Jasna. (2019). A Bibliometric Review of Research on Educational Administration: Science Mapping the Literature, 1960 to 2018. *Review of Educational Research*, 89(3), 335–369. doi:10.3102/0034654319830380

Hinojo-Lucena, F.-J., Aznar-Díaz, I., Cáceres-Reche, M.-P., & Romero-Rodríguez, J.-M. (2019). Artificial Intelligence in Higher Education: A Bibliometric Study on its Impact in the Scientific Literature. *Education Sciences*, 9(1). doi:10.3390/educsci9010051

Huang, C., Yang, C., Wang, S., Wu, W., Su, J., & Liang, C. (2020). Evolution of topics in education research: a systematic review using bibliometric analysis. *Educational Review*, 72(3), 281–297. doi:10.1080/00131911.2019.1566212

Moral-Muñoz, J. A., Herrera-Viedma, E., Santisteban-Espejo, A., & Cobo, M. J. (2020). Software tools for conducting bibliometric analysis in science: An up-to-date review. *Profesional de La Informacion*. El Profesional de la Informacion. doi:10.3145/epi.2020.ene.03

Öztürk, O., Kocaman, R., & Kanbach, D. K. (2024). How to design bibliometric research: an overview and a framework proposal. *Review of Managerial Science*, 18(11), 3333–3361. doi:10.1007/s11846-024-00738-0

Roll, I., & Wylie, R. (2016). Evolution and Revolution in Artificial Intelligence in Education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26(2), 582–599. doi:10.1007/s40593-016-0110-3

Russell, S. J., & Norvig, P. (2021). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. (4th ed., Ed.). Pearson Education.

Yang, J., & Zhang, B. (2019). Artificial Intelligence in Intelligent Tutoring Robots: A Systematic Review and Design Guidelines. *Applied Sciences*, 9(10). doi:10.3390/app9102078

Yeşilyurt, S., Dündar, R., & Aydın, M. (2024). Sosyal Bilgiler Eğitimi Alanında Lisansüstü Eğitimini Sürdüren Öğrencilerin Yapay Zekâ Hakkındaki Görüşleri. *Asya Studies*, 8(27), 1–14. doi:10.31455/asya.1406649

Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(1), 39. doi:10.1186/s41239-019-0171-0

Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric Methods in Management and Organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429–472. doi:10.1177/1094428114562629

