

Received-Makale Geliş Tarihi 29.12.2025
Published-Yayınlanma Tarihi 28.02.2026
Volume-Cilt (Issue-Sayı), ss/pp 13 (128),364-381

Research Article / Araştırma Makalesi
10.5281/zenodo.18818716

Arş. Gör. Fatih Kılavuz

<https://orcid.org/0000-0002-8305-4754>

Yıldız Teknik Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İletişim ve Tasarımı Bölümü, İstanbul / TÜRKİYE
ROR Id: <https://ror.org/0547yzj13>

Beyin Bilgisayar Arayüzleri ve Oyun Deneyimi

Brain Computer Interfaces and Game Experience

ÖZET

Dijital oyunlar, kullanıcı deneyimi, etkileşim tasarımı ve bilişsel süreçlerle doğrudan ilişkili çok katmanlı deneyim alanları olarak değerlendirilmektedir. Oyun deneyimi, yalnızca görsel ve işitsel unsurlar ya da mekanik yeterlilikler üzerinden değil, oyuncunun dikkat, duygu durumu, bilişsel yük ve öznel algılarıyla şekillenen dinamik bir yapı olarak ele alınmaktadır. Bu bağlamda insan bilgisayar etkileşimi alanında yaşanan gelişmeler, oyunlarda kullanılan arayüzlerin de dönüşmesine yol açmakta ve geleneksel kontrol mekanizmalarının ötesinde yeni etkileşim biçimlerinin araştırılmasını gerekli kılmaktadır. Beyin bilgisayar arayüzleri, bireyin sinirsel etkinliğini doğrudan dijital sistemlere aktararak fiziksel girdilere ihtiyaç duymadan etkileşim kurulmasını mümkün kılan yenilikçi bir yaklaşım olarak oyun deneyimi bağlamında giderek daha fazla ilgi görmektedir.

Bu çalışma, beyin bilgisayar arayüzleri ile oyun deneyimi arasındaki ilişkiyi döküman analizi yöntemiyle mevcut literatür üzerinden incelemeyi ve alandaki temel eğilimleri kavramsal bir çerçevede sentezlemeyi amaçlamaktadır. Literatür, oyunlarda kullanılan aktif, reaktif ve pasif beyin bilgisayar arayüzü paradigmalarının, oyuncunun bilişsel ve duygusal durumlarına dayalı yeni etkileşim ve geribildirim biçimleri sunduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte çalışmaların büyük bir bölümünün teknik uygulanabilirliğe odaklandığı, oyun deneyiminin öznel, algısal ve tasarımsal boyutlarının ise sınırlı düzeyde ele alındığı görülmektedir. Bu çalışma, beyin bilgisayar arayüzlerinin oyun deneyimini dönüştürme potansiyelini, adaptif ve kullanıcıya duyarlı tasarım yaklaşımları çerçevesinde tartışmakta ve gelecekteki araştırmalar için bütüncül, disiplinlerarası ve deneyim odaklı yaklaşımların gerekliliğine işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Beyin Bilgisayar Arayüzü, Oyun Deneyimi, Kullanıcı Deneyimi, Etkileşim Tasarımı, Adaptif Oyunlar

ABSTRACT

Digital games are increasingly regarded as complex experiential systems that are closely associated with user experience, interaction design, and cognitive processes. Game experience is not limited to visual or auditory elements or mechanical performance, but is shaped by dynamic interactions involving players' attention, emotional states, cognitive load, and subjective perceptions. Developments in the field of human computer interaction have consequently led to a transformation of game interfaces, prompting the exploration of alternative interaction paradigms beyond traditional input devices. In this context, brain computer interfaces have emerged as a novel approach that enables direct interaction between neural activity and digital systems without relying on physical input, attracting growing attention within game research.

This study aims to examine the relationship between brain computer interfaces and game experience through document analysis and to synthesize existing literature within a conceptual framework. The reviewed studies indicate that active, reactive, and passive brain computer interface paradigms introduce new forms of interaction and feedback in games by incorporating players' cognitive and emotional states into gameplay processes. However, the literature largely emphasizes technical feasibility and signal processing performance, while the experiential, perceptual, and design-oriented dimensions of game experience remain relatively underexplored. This study argues that brain computer interfaces should be considered not merely as alternative control mechanisms, but as transformative interaction paradigms capable of reshaping game experience. By highlighting the importance of adaptive, user-sensitive, and experience-oriented design approaches, the study provides conceptual insights and outlines directions for future interdisciplinary research in the field of brain computer interface-based game experiences.

Keywords: Brain Computer Interface, Game Experience, User Experience, Interaction Design, Adaptive Games

1. GİRİŞ

Dijital oyunlar, yalnızca eğlenceye dayalı ürünler olmaktan çıkarak, kullanıcı deneyimi, etkileşim tasarımı ve bilişsel süreçlerle doğrudan ilişkilenen karmaşık deneyim alanları haline gelmektedir. Oyuncu ile oyun arasındaki etkileşim, görsel ve işitsel geri bildirimlerin ötesinde, dikkat, duyu durumu ve karar verme gibi bilişsel süreçleri de içeren çok katmanlı bir yapı olarak ele alınmaktadır. Bu bağlamda oyun deneyimi, teknik performans ya da mekanik yeterlilikten ziyade, oyuncunun öznel algısı ve deneyim süreci üzerinden tanımlanmaktadır.

İnsan bilgisayar etkileşimi alanında yaşanan gelişmeler, oyun deneyiminin biçimlenmesinde kullanılan arayüzlerin de dönüşmesine yol açmaktadır. Klavye, fare ve oyun kumandaları gibi geleneksel kontrol araçları, oyuncunun bedensel hareketlerini ve bilişsel tepkilerini sınırlı ölçüde yansıtabilmektedir. Bu sınırlılıklar, özellikle daha bütüncül ve sezgisel etkileşim biçimlerine duyulan ilgiyi artırmakta ve alternatif arayüz yaklaşımlarının araştırılmasını gerekli kılmaktadır. Beyin bilgisayar arayüzleri (BBA), bu arayışın önemli örneklerinden biri olarak öne çıkmaktadır.

Beyin bilgisayar arayüzleri, bireyin sinirsel etkinliğini doğrudan dijital sistemlere aktararak, geleneksel fiziksel girdilere ihtiyaç duymadan etkileşim kurulmasını mümkün kılmaktadır. Özellikle elektroensefalografi (EEG) temelli sistemlerin gelişmesiyle birlikte, bilişsel ve duygusal durumlara dayalı etkileşim biçimleri oyun bağlamında daha görünür hale gelmektedir. Bu durum, oyun deneyiminin yalnızca kontrol mekanizmaları açısından değil, deneyimin algılanışı ve anlamlandırılması açısından da yeniden değerlendirilmesini gerektirmektedir.

Beyin bilgisayar arayüzlerinin, oyuncu deneyimini ve etkileşimi artırma potansiyeli özellikle dikkat temelli sistemler üzerinden ele alınmaktadır. Oyuncunun dikkat düzeyini ölçen ve bu veriyi oyun mekaniklerine entegre eden yaklaşımların, oyuna dalma hissini güçlendirdiği belirtilmektedir (Vasiljevic & de Miranda, 2019). Bununla birlikte, odaklanma ve gevşeme gibi zihinsel durumlara dayalı kontrol mekanizmalarının, ek bir bilişsel yük oluşturmadan oyun içi etkileşimi artırabildiği ifade edilmektedir (Wozniak vd., 2021). Bu durum, bilişsel süreçlerin oyun tasarımıyla bütünleştiği yeni bir etkileşim alanına işaret etmektedir.

Oyuncuların önceki oyun deneyimlerinin, beyin bilgisayar arayüzü performansı üzerinde belirleyici bir rol oynadığı da literatürde vurgulanan konular arasında yer almaktadır. Deneyimli oyuncuların, oyun oynama sürecinde geliştirdikleri sensörimotor beceriler sayesinde beyin bilgisayar arayüzü eğitimlerinde daha yüksek başarı gösterdikleri belirtilmektedir. Özellikle motor imgeleme temelli sistemlerde, güçlü bir oyun profilinin EEG ritim etkinliğini artırarak performansı olumlu yönde etkilediği ortaya konmaktadır (Vourvopoulos vd., 2015, 2017). Sağlamadığı oyun deneyiminin her durumda doğrudan performans artışı sağlamadığı, buna karşın yoğun oyuncular için öğrenme sürecini hızlandırabildiği de ifade edilmektedir (Vourvopoulos vd., 2017).

Beyin bilgisayar arayüzleri, oyunlarda alternatif bir girdi yöntemi olarak da ele alınmaktadır. Özellikle mobil oyunlar bağlamında, yeni etkileşim jestleri ve kontrol biçimleri sunarak cihaz kullanılabilirliğini artırdığı ve erişilebilirliği genişlettiği belirtilmektedir. Fiziksel dokunmaya dayalı etkileşimin ortadan kalkması, fiziksel engeli bulunan oyuncular için önemli bir avantaj sağlamaktadır (Althekair vd., 2023). Bunun yanı sıra, World of Warcraft gibi popüler oyunlarda yapılan çalışmalar, beyin bilgisayar arayüzlerinin avatarların biçimsel ve işlevsel özelliklerinin kontrolünde kullanılabildiğini göstermektedir. Deneyimli oyuncular, kontrol ve katılım düzeylerini daha düşük değerlendirmiş olsalar da bu durumun oyun eğlencesini anlamlı biçimde azaltmadığı rapor edilmektedir (Van De Laar vd., 2013).

Buna karşılık, beyin bilgisayar arayüzlerinin oyun bağlamındaki kullanımında çeşitli zorluklar ve sınırlılıklar da bulunmaktadır. Hem kullanıcı hem de sistem açısından uzun ve tekrarlı eğitim süreçlerinin gerekli olması, kullanıcı yorgunluğuna ve düşük performansa yol açabilmektedir (Vourvopoulos vd., 2015, 2017). Ayrıca birçok kullanıcının, nörogeribildirim döngüsünü kontrol edebilmek için beyin etkinliğini istemli biçimde düzenlemekte zorlandığı belirtilmektedir (Vourvopoulos vd., 2017). Dikkat temelli oyunlarda görsel geribildirim olmamasının performans üzerinde belirleyici bir etki yaratmadığı, ancak oyuncuların oyunu kontrol ettiklerine dair algılarının zayıf kaldığı da ifade edilmektedir (Vasiljevic & de Miranda, 2019). Bu durum, öznel deneyim ile ölçülebilir performans arasındaki farkın önemini ortaya koymaktadır.

Literatürde, bu sınırlılıkların aşılmasına yönelik potansiyel yaklaşımlar da tartışılmaktadır. Görsel uyarılmış potansiyele dayalı beyin bilgisayar arayüzlerinin, yüksek bilgi aktarım hızları sayesinde oyunlarda erişilebilirliği artırdığı ve uyarlanabilir zorluk düzeylerini desteklediği belirtilmektedir (Keutayeva vd., 2025). Ayrıca avatar kullanımı, hedef odaklı görevler ve sanal ortamlar aracılığıyla oyunlaştırılmış eğitim protokollerinin, kullanıcı performansı ve deneyimi üzerinde olumlu etkiler yarattığı rapor edilmektedir (Atilla vd., 2024). Gelecek çalışmaların, beyin bilgisayar arayüzlerinin yeni teknolojilerle bütünleştirilmesine, kullanıcı konforunun artırılmasına ve etkileşim modellerinin uyarlanabilir biçimde tasarlanmasına odaklanması gerektiği vurgulanmaktadır (Gholizadeh Hamlabadi vd., 2024; Keutayeva vd., 2025). Bu yönelimler, alanın gelişim potansiyeline işaret etmektedir.

Oyunlarda beyin bilgisayar arayüzü kullanımına yönelik çalışmalar, çoğunlukla deneysel prototipler ve kavramsal yaklaşımlar etrafında şekillenmektedir. Literatürde, BBA destekli oyunların oyuncu katılımını, dikkat düzeyini ve duygusal tepkileri nasıl etkilediğine ilişkin farklı perspektifler yer almaktadır. Bununla birlikte, bu çalışmaların büyük bir bölümü teknik uygulanabilirliğe odaklanmakta, oyun deneyiminin kavramsal ve tasarimsal boyutları ise sınırlı düzeyde ele alınmaktadır.

Bu çalışma, beyin bilgisayar arayüzleri ile oyun deneyimi arasındaki ilişkiyi, döküman analizi yöntemiyle mevcut literatür üzerinden bütüncül bir çerçevede ele almayı amaçlamaktadır. Amaç, alandaki temel eğilimleri, kavramsal yaklaşımları ve tartışma alanlarını sentezleyerek ortaya koymak ve oyun deneyiminin BBA bağlamında nasıl yeniden düşünülmesi gerektiğine dair çıkarımlar sunmaktır. Bu doğrultuda çalışma, mevcut literatürü yorumlayan, betimsel analiz eden ve gelecekteki araştırmalara yön gösteren kavramsal bir katkı sunmayı hedeflemektedir.

2. OYUN DENEYİMİ KAVRAMI VE KURAMSAL ÇERÇEVE

Oyun deneyimi, oyuncu ile oyun arasındaki etkileşimi biçimlendiren çok boyutlu bir kavram olarak ele alınmaktadır. Bu deneyim, etkileşim, geribildirim ve oyuncu katılımı gibi temel bileşenlerin bir araya gelmesiyle oluşmakta ve eğlence, akış durumu, motivasyon ve öznel kullanıcı deneyimi gibi faktörlerden etkilenmektedir. Bu unsurların birbirleriyle kurduğu ilişki, oyuncunun oyun sürecini nasıl algıladığını ve deneyimlediğini belirleyen temel çerçeveyi oluşturmaktadır.

Oyuncu ile oyun arasındaki etkileşim, oyun deneyiminin merkezinde yer almaktadır. Bu etkileşim, oyunun yapısal özellikleri ile oyuncunun verdiği tepkiler arasında dinamik bir ilişki olarak tanımlanmakta ve oynanış süreci boyunca karşılıklı olarak şekillenmektedir (Almeida vd., 2013). Etkileşimin niteliği, oyuncunun oyuna yönelik algısını doğrudan etkilemekte ve deneyimin bütünü belirleyen önemli bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle etkileşim, oyun deneyimini anlamlandırmada temel bir başlangıç noktası sunmaktadır.

Etkileşimle yakından ilişkili olan geribildirim, oyuncu katılımının sürdürülmesinde ve akış durumunun desteklenmesinde kritik bir rol üstlenmektedir. Zamanında ve açık biçimde sunulan geribildirim, oyuncunun oyun içindeki ilerleyişini anlamasını ve stratejilerini buna göre uyarlamasını sağlamaktadır (Chen, 2007; Kaplan & Coşgun, 2025). Bu durum, oyuncunun oyuna yönelik kontrol algısını güçlendirerek daha sürükleyici bir deneyim oluşturulmasına katkı sunmaktadır. Geribildirim niteliği, oyun deneyiminin sürekliliği açısından belirleyici bir faktör olarak değerlendirilmektedir.

Oyuncu katılımı, oyun deneyimini şekillendiren bir diğer temel bileşen olarak ele alınmaktadır. Katılımın; hedefler, etkinlikler, kazanımlar ve duygulanımsal tepkiler gibi çeşitli bileşenler tarafından yönlendirildiği ve bu bileşenlerin oyuncunun oyunu sürdürme isteğini doğrudan etkilediği belirtilmektedir (Schoenau-Fog, 2011). Bunun yanı sıra yaş, cinsiyet ve oyun deneyimi gibi bireysel farklılıkların da katılım düzeyi üzerinde etkili olduğu vurgulanmaktadır (Procci vd., 2013). Bunlar oyuncu katılımının homojen bir yapı göstermediğini ortaya koymaktadır.

Katılımın yoğunlaştığı özel bir deneyim durumu olarak tanımlanan akış, oyun deneyimi literatüründe önemli bir yer tutmaktadır. Akış durumu, oyuncunun etkinliğe tamamen odaklandığı, zaman algısının zayıfladığı ve kontrol hissini güçlendiği optimal bir deneyim hali olarak tanımlanmaktadır (Chen, 2007; Nah vd., 2017; Ohrankammen vd., 2021). Açık hedefler ve anında geribildirim gibi unsurların, bu deneyim durumunun oluşumunda belirleyici olduğu ifade edilmektedir. Bu nedenle akış, oyun tasarımında sıklıkla hedeflenen bir kalite ölçütü olarak ele alınmaktadır (Kiili vd., 2014).

Eğlence, oyun deneyiminin sürdürülmesinde temel bir motivasyon kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Yüksek düzeyde keyif, tatmin ve haz sunan oyunların, oyuncuların ilgisini daha uzun süre koruyabildiği belirtilmektedir (Chu vd., 2011; do Nascimento vd., 2026). Eğlence odaklı oyun araştırmaları, oyuncuların oyuna yönelme nedenlerinin ve öznel deneyimlerinin anlaşılmasının önemine dikkat çekmektedir (Procci vd., 2013). Bu bağlamda eğlence, oyun deneyiminin duygusal boyutunu temsil eden temel bir unsur olarak öne çıkmaktadır.

Motivasyon ise merak, meydan okuma ve özerklik gibi faktörlerden etkilenmektedir. Bu boyutları etkili biçimde kullanan oyunların, oyuncu katılımını sürdürme ve deneyimi derinleştirme konusunda daha başarılı olduğu ifade edilmektedir (Kaplan & Coşgun, 2025; Tang & Kirman, 2025). Özellikle oyun sürecinden elde edilen haz ve doyuma dayalı içsel motivasyonun, uzun süreli katılımın sağlanmasında önemli bir rol oynadığı belirtilmektedir (Teles vd., 2026). Bu durum, motivasyonun oyun deneyiminin sürekliliği açısından kritik bir bileşen olduğunu göstermektedir.

Oyun deneyiminin öznel boyutu, oyuncuların duygusal tepkilerini, oyuna dalma hissini ve sosyal etkileşimlerini kapsamaktadır. Bu deneyim; memnuniyet, öğrenme, etkililik ve duygu gibi çeşitli boyutlar üzerinden değerlendirilmektedir (do Nascimento vd., 2026; Eshuis vd., 2023; Teles vd., 2026). Bunun yanı sıra oyunun estetik özellikleri ve kullanılabilirlik düzeyinin, öznel deneyimi doğrudan etkilediği de vurgulanmaktadır (Carrigy vd., 2010). Bu bağlamda oyun deneyimi, yalnızca işlevsel değil aynı zamanda algısal ve duygusal bir yapı olarak ele alınmaktadır. Tablo 1’de oyun deneyimine air bu doğrultudaki ana unsurlar ve tanımlarına yer verilmiştir.

Tablo 1. Oyun Deneyimine ait Ana Unsurlar ve Tanımları

Ana Unsur	Tanım
Etkileşim (Interaction)	Oyun özellikleriyle oyuncu tepkileri arasında dinamik etkileşimi ifade etmektedir.
Geribildirim (Feedback)	Zamanında ve net geri bildirim, katılımı ve akışı iyileştirmektedir.
Katılım (Engagement)	Hedefler, faaliyetler, başarılar ve etkiler tarafından yönlendirilmektedir.
Akış Durumu (Flow State)	Derin oradalk ve odaklanmanın en uygun durumunu ifade etmektedir.
Eğlence (Entertainment)	Yüksek düzeyde eğlence, keyif ve tatmini ifade etmektedir.
Motivasyon (Motivation)	Merak, meydan okuma ve özerklik duygusundan etkilenmektedir.
Öznel Kullanıcı Deneyimi (Subjective UX)	Duygusal tepkiler, kendini kaptırma ve sosyal etkileşimi ifade etmektedir.

Etkileşim, geribildirim, katılım, akış, eğlence, motivasyon ve öznel kullanıcı deneyimi bileşenleri birlikte değerlendirildiğinde, oyun deneyiminin tekil bir unsurdan değil, çok katmanlı bir yapıdan oluştuğu görülmektedir. Bu bileşenlerin birbirleriyle kurduğu ilişki, oyuncunun oyunla kurduğu bağı ve deneyimin niteliğini belirlemektedir. Bu çok boyutlu yapı, oyun deneyiminin incelenmesinde bütüncül yaklaşımların gerekliliğine işaret etmektedir.

2.1. Oyunlarda Kullanıcı Deneyimi ve Etkileşim

Geleneksel kontrol mekanizmaları, oyun deneyiminin biçimlenmesinde uzun süredir temel araçlar olarak kullanılmaktadır. Klavye, fare, oyun kumandaları ve dokunmatik ekranlar gibi farklı kontrol yöntemleri, kullanıcı ile oyun arasındaki etkileşimi hem bilişsel hem de bedensel düzeyde şekillendirmektedir. Bu kontrol biçimlerinin her biri, kullanıcı deneyimini farklı açılardan etkilemekte ve oyuncunun oyuna katılım biçimini belirlemektedir.

Klavye ve fare temelli kontrol mekanizmaları, özellikle üç boyutlu oyun ortamlarında etkin bir etkileşim sunduğu için yaygın biçimde tercih edilmektedir. Fare ile sağlanan kontrolün, klavye temelli etkileşime kıyasla özellikle gezinme görevlerinde daha etkili olduğu belirtilmektedir (van der Kuil vd., 2018). Bununla birlikte, hedefleme gibi hassas oyun görevlerinin çok düşük gecikme sürelerinden dahi önemli ölçüde etkilendiği ve farklı giriş aygıtlarının gecikmeye karşı farklı düzeylerde hassasiyet gösterdiği ortaya konmaktadır (Long & Gutwin, 2019). Bu durum, teknik performansın kullanıcı deneyimi üzerindeki belirleyici rolünü göstermektedir.

Oyun kumandaları, klavye ve fareye kıyasla daha bütüncül bir etkileşim sunarak hem bilişsel hem de bedensel katılımı dengelemeyi amaçlamaktadır. Sony Playstation DualShock 4 gibi oyun kumandalarının performansı ve kullanılabilirliği, sundukları geribildirim öğelerine bağlı olarak farklı kullanıcı deneyimleri ortaya koymaktadır (Young vd., 2017). Buna ek olarak, dokunmatik ekran tabanlı sanal kumandaların

bireysel kullanıcı gereksinimlerine uyarlanabilir yapıda olması, kontrol hassasiyetini ve oyun performansını artırabilmektedir (Torok, Pelegrino, Lessa, vd., 2015; Torok, Pelegrino, Trevisan, vd., 2015). Bu esneklik, kullanıcı deneyiminin kişiselleştirilmesine olanak tanımaktadır.

Dokunmatik ekranlar, özellikle mobil oyunlarda yaygın olarak kullanılan bir kontrol yöntemi olarak öne çıkmaktadır. Yapılan çalışmalar, dokunmatik etkileşimin işlevsel açıdan etkili olmasına karşın, bakış ve ses tabanlı kontrol yöntemleriyle karşılaştırıldığında her zaman en yüksek düzeyde etkileşim sunmadığını göstermektedir (Uludağlı & Acartürk, 2018). Bununla birlikte, dokunmatik ekranlara entegre edilen dokunsal geribildirim teknolojilerinin, etkileşime fiziksel bir zenginlik kazandırarak kullanıcı deneyimini anlamlı biçimde iyileştirdiği belirtilmektedir (Shan vd., 2025; Silva vd., 2020). Bu yaklaşım, dokunmatik etkileşimin sınırlılıklarını azaltmaya yönelik önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

Geleneksel kontrol mekanizmalarının kullanıcı deneyimi üzerindeki etkisi, bedensel katılım düzeyi üzerinden de ele alınmaktadır. Hareket temelli oyunlarda, özellikle Nintendo Wii Boxing gibi örneklerde, aktif beden hareketlerinin oyuncunun oyuna dalma hissini ve katılımını artırdığı görülmektedir. Doğal kontrol, hareketlerin taklidi, proprioseptif geribildirim ve fiziksel meydan okuma gibi unsurların, bedensel katılımı güçlendiren temel faktörler olduğu belirtilmektedir (Pasch vd., 2009). Bu tür etkileşim biçimleri, kullanıcı deneyimini daha somut ve fiziksel hale getirmektedir.

Dokunsal arayüzler ve fiziksel nesnelere desteklenen kontrol mekanizmaları da bedensel katılımı artıran önemli araçlar arasında yer almaktadır. Ağırlıklı beyzbol sopası gibi fiziksel nesnelere veya dokunsal joystickler aracılığıyla sunulan gerçekçi fiziksel hislerin hem kullanıcı deneyimini hem de görev performansını iyileştirdiği ifade edilmektedir (Chen vd., 2025; White vd., 2019). Bu tür yaklaşımlar, sanal ve fiziksel deneyim arasındaki mesafeyi azaltmaktadır.

Bilişsel katılım ise uyarlanabilir ve kullanıcıya duyarlı arayüzlerle doğrudan ilişkilendirilmektedir. Makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak geliştirilen sanal kumandaların, kullanıcı davranışlarına uyum sağlayarak hata oranlarını azalttığı ve daha kişiselleştirilmiş bir oyun deneyimi sunduğu belirtilmektedir (Torok, Pelegrino, Lessa, vd., 2015; Torok, Pelegrino, Trevisan, vd., 2015). Ayrıca bakış temelli etkileşim yöntemlerinin, etkileşim verimliliği ile kullanıcı yorgunluğu arasında denge kurarak bilişsel katılımı desteklediği ifade edilmektedir (Navrozidou vd., 2025). Bu yaklaşımlar, zihinsel süreçlerin etkileşim tasarımındaki rolünü ön plana çıkarmaktadır. Tablo 2’de oyun kontrol mekanizmalarının karşılaştırmaları gösterilmektedir.

Tablo 2. Oyun Kontrol Mekanizmaları Karşılaştırma Tablosu

Kontrol Mekanizması	Temel Özellikler	Bedensel Katılım (Somatic)	Bilişsel Katılım (Cognitive)
Klavye/Fare	3D navigasyonda etkili, gecikmeye (latency) karşı hassas.	Orta	Yüksek, özellikle hassasiyet gerektiren görevlerde.
Oyun Kumandası (Gamepad)	Özelleştirilebilir, çeşitli geri bildirimler sunar.	Orta - Yüksek	Orta, adaptasyona bağlı.
Dokunmatik Ekran	Mobil oyunlarda yaygın, haptik (titreşimli) geri bildirimle desteklenir.	Düşük - Orta	Orta, adaptif arayüzlerle geliştirilebilir.
Haptik Cihazlar	Gerçekçi fiziksel duyumlar sağlar.	Yüksek	Orta, daldırma (immersion) hissini artırır.

Farklı kontrol mekanizmaları karşılaştırıldığında, klavye ve farenin özellikle hassasiyet gerektiren görevlerde yüksek bilişsel katılım sunduğu, ancak bedensel katılım düzeyinin sınırlı kaldığı görülmektedir. Oyun kumandalarının, uyarlanabilirlik ve geribildirim özelliklerine bağlı olarak hem bilişsel hem de bedensel katılım arasında bir denge sağladığı belirtilmektedir. Dokunmatik ekranların ise bedensel katılım açısından sınırlı kalmasına karşın, uyarlanabilir ve dokunsal destekli çözümlerle bu açığı kısmen kapatabildiği ifade edilmektedir. Dokunsal aygıtlar ise sundukları gerçekçi fiziksel hisler sayesinde bedensel katılımı en yüksek düzeye taşıyan kontrol biçimleri arasında yer almaktadır. Bu karşılaştırma, kontrol mekanizmasının türünün kullanıcı deneyiminin niteliğini doğrudan etkilediğini ortaya koymaktadır.

Geleneksel kontrol mekanizmaları, oyun deneyiminin şekillenmesinde farklı roller üstlenmektedir. Klavye ve fare yüksek bilişsel katılım sunarken, oyun kumandaları özelleştirilebilir geribildirimler aracılığıyla daha dengeli bir deneyim sağlamaktadır. Dokunmatik ekranlar yaygın kullanıma sahip olmakla birlikte, kullanıcı deneyimini güçlendirmek için ek teknolojik desteklere ihtiyaç duymaktadır. Bu bağlamda uyarlanabilir ve dokunsal teknolojilerin entegrasyonu hem bedensel hem de bilişsel katılımın artırılmasında önemli bir potansiyel sunmaktadır.

2.2. Oyun Deneyiminde Duygusal ve Bilişsel Boyut

Oyun deneyiminin duygusal ve bilişsel boyutlarını incelemek için, duygu, dikkat, bilişsel yük ve oyuncu performansı arasındaki ilişkilerin birlikte ele alınması gerekmektedir. Bu ilişkilerin anlaşılmasında, oyuncu ile oyun arasındaki etkileşimin yalnızca ölçülebilir davranışsal çıktılarla değil, aynı zamanda öznel algılar üzerinden de şekillendiği vurgulanmaktadır. Bu doğrultuda yapılan çalışmalar, oyun deneyiminin çok katmanlı bir yapı sergilediğini ortaya koymaktadır.

Duygusal boyut açısından ele alındığında, oyuncuların oyun içi karakterlerle kurduğu etkileşimin, fizyolojik uyarılma düzeylerini anlamlı biçimde etkilediği görülmektedir. Oyuncu tarafından kontrol edilen avatarlarla etkileşimin, bilgisayar kontrollü ajanlara kıyasla daha yüksek düzeyde fizyolojik uyarılma yarattığı ve bu durumun duygusal katılım üzerinde belirleyici olduğu ifade edilmektedir (Lim & Reeves, 2010). Ayrıca çevrim içi oyunlarda gerçek zamanlı duygu farkındalığının, oyuncuların duygusal durumlarını ve davranışlarını etkileyebildiği, rakiplerin duygusal ifadelerinin oyun deneyimini doğrudan şekillendirebildiği belirtilmektedir (Sekhavat vd., 2022). Duygusal etkileşimin kaynağının oyun deneyimi açısından önemi göze çarpmaktadır.

Duyguların ölçülmesine yönelik çalışmalarda, fizyolojik verilerin güvenilir göstergeler sunduğu da ortaya konmaktadır. Elektrodermal aktivite ve kalp atış hızı gibi ölçümlerin, oyuncuların uyarılma düzeyleri ve duygusal durumlarıyla anlamlı biçimde ilişkili olduğu ve öznel oyun deneyimi değerlendirmeleriyle örtüştüğü belirtilmektedir (Drachen vd., 2010). Bu tür ölçümler, oyun deneyiminin duygusal boyutunun nesnel verilerle desteklenmesine olanak tanımaktadır.

Bilişsel boyut bağlamında, bilişsel yük ile oyuncu performansı arasındaki ilişki önemli bir belirleyici olarak ele alınmaktadır. Yüksek bilişsel yükün, oyuncularda hayal kırıklığına yol açarak performansı olumsuz etkileyebildiği, buna karşın dengeli bilişsel taleplerin akış durumunu destekleyerek görev performansını artırabildiği ifade edilmektedir (Bowman vd., 2021). Ayrıca ciddi oyunlarda bilişsel yük ile empati gelişimi arasındaki ilişkinin, aşırı bilişsel taleplerin duygusal tükenmişliğe yol açabileceğini gösterdiği belirtilmektedir (Huang & Tettegah, 2015). Bu durum, bilişsel tasarımın dikkatle ele alınması gerektiğine işaret etmektedir.

Dikkat ve bilişsel işlevler açısından bakıldığında, oyun türlerinin farklı bilişsel kazanımlarla ilişkili olduğu görülmektedir. Birinci şahıs nişancı oyunları oynayan bireylerin, çok oyunculu çevrim içi savaş oyunları oynayanlara kıyasla daha iyi sürdürülebilir dikkat ve tepki süreleri sergilediği ortaya konmaktadır (Mancı vd., 2024). Bununla birlikte, aksiyon oyunlarının seçici dikkat ve görsel mekânsal işleme becerilerini geliştirebildiği, ancak düşük uyarıcılı ortamlarda bilişsel aşırı yüklenmeye de yol açabildiği belirtilmektedir (Trisolini vd., 2018) Bu bulgular, bilişsel etkilerin bağlama duyarlı olduğunu göstermektedir.

Oyuncu performansı, duygusal ve bilişsel durumların etkileşimiyle doğrudan ilişkilendirilmektedir. Özellikle hayal kırıklığı gibi olumsuz duyguların, oyuncuların bilişsel yükü azaltmak amacıyla daha az zorlayıcı görevlere yönelmesine neden olabildiği ve bu durumun ikincil görevlerde performans artışıyla sonuçlanabildiği ifade edilmektedir (Bowman vd., 2021). Ayrıca bilişsel yük ile duygusal katılım arasındaki dengenin, oyun tatmini ve genel performans üzerinde belirleyici olduğu vurgulanmaktadır (Abbasi vd., 2025; Ames-Guerrero vd., 2020). Bu etkileşim, performansın tek boyutlu bir değişken olmadığını ortaya koymaktadır.

Öznel algı, oyun deneyiminin şekillenmesinde merkezi bir rol üstlenmektedir. Oyuncuların oyunun uyarlanabilirliğine ve karakterlerle kurdukları ilişkilere dair algılarının, stratejik kararlarını ve genel oyun memnuniyetini etkilediği belirtilmektedir (Bostan & Şahinler, 2024; Erb vd., 2021). Bunun yanı sıra, oyun içi diyalogların yapay zekâ tarafından üretilmiş ya da insan tarafından yazılmış olmasına yönelik öznel değerlendirmelerin, oyuncu deneyimi ve oyuna dalma hissi üzerinde anlamlı etkiler yarattığı ifade edilmektedir (Sridharan vd., 2025). Bu durum, algının deneyim üzerindeki dönüştürücü etkisini göstermektedir.

Oyuna dalma ve bulunurluk duygusu da öznel deneyimin önemli bileşenleri arasında yer almaktadır. Birinci şahıs ve üçüncü şahıs bakış açıları arasındaki tercihlerin, oyuncuların oyuna yönelik tercihleriyle birlikte oyuna dalma düzeylerini etkilediği belirtilmektedir (Denisova & Cairns, 2015). Ayrıca öznel kamera kullanımı ve izleyici konumunun, mekânsal bulunurluk ve etkileşim algısını güçlendirdiği ifade edilmektedir (Cummins, 2009; Srinivasan, 2025). Bu bulgular, perspektifin deneyimsel boyutunu ön plana çıkarmaktadır. Tablo 3'te oyun deneyiminin boyutları ve temel bulguları gösterilmektedir.

Tablo 3. Deneyim Boyutları ve Temel Bulgular

Boyut	Temel Bulgular
Duygusal (Emotional)	Avatarlarla daha yüksek uyarılma; gerçek zamanlı duygu farkındalığı davranışı etkiler.
Bilişsel (Cognitive)	Bilişsel yük performansı etkiler; türe özgü bilişsel faydalar mevcuttur.
Performans	Duygusal ve bilişsel durumlar görev performansını etkiler.
Öznel	Uyumluluk, karakter ilişkileri ve diyalog alguları deneyimi etkiler.
Daldırma/Derinleşme (Immersion)	Bakış açısı ve öznel kamera kullanımı varlık hissini ve katılımı artırır.

Duygusal, bilişsel, performans odaklı ve öznel boyutlar birlikte değerlendirildiğinde, oyun deneyiminin bu bileşenlerin karşılıklı etkileşimiyle şekillendiği görülmektedir. Özellikle öznel algının hem duygusal katılımı hem de bilişsel süreçleri yönlendiren bir çerçeve sunduğu anlaşılmaktadır. Bu çok katmanlı yapı, oyun deneyiminin incelenmesinde bütüncül ve disiplinlerarası yaklaşımların gerekliliğini ortaya koymaktadır.

3. BEYİN BİLGİSAYAR ARAYÜZLERİ VE OYUN DENEYİMİ ETKİLEŞİMİ

3.1. BBA Teknolojisinin Temelleri ve İnsan Bilgisayar Etkileşimi (İBE)

Elektroensefalografi temelli beyin bilgisayar arayüzleri, beynin elektriksel etkinliğinin kafa derisi üzerine yerleştirilen invaziv olmayan (cerrahi müdahale gerekmeyen) elektrotlar aracılığıyla kaydedilmesine dayanmaktadır. Bu yaklaşımın, maliyetinin görece düşük olması ve kullanım kolaylığı sağlaması nedeniyle yaygın biçimde tercih edildiği belirtilmektedir (Frącz, 2021; Jois vd., 2016; Luo vd., 2025). EEG temelli sistemler, bu özellikleri sayesinde hem araştırma hem de uygulama odaklı çalışmalarda temel bir altyapı sunmaktadır.

EEG sinyallerinin anlamlı çıktılara dönüştürülebilmesi, çok aşamalı bir sinyal işleme sürecini gerektirmektedir. Bu süreçte ilk aşama, ham EEG verilerinin filtrelenmesi ve artefaktlardan arındırılmasını kapsayan ön işleme adımıdır (Das vd., 2025; Nemes & Eigner, 2025). Ön işleme sonrasında, sinyallerden ayırt edici özelliklerin elde edilmesi amacıyla Hızlı Fourier Dönüşümü, Ortak Uzamsal Örüntü ve Dalgacık Dönüşümü gibi yöntemlerin kullanıldığı ifade edilmektedir (Alexander vd., 2024; Vega-Escobar vd., 2015). Bu aşamayı takiben, elde edilen özelliklerin komutlara dönüştürülmesi için destek vektör makineleri, yapay sinir ağları ve evrimsel sinir ağları gibi makine öğrenmesi algoritmalarının kullanıldığı belirtilmektedir (Das vd., 2025; Jois vd., 2016; Teye Brown & Zgallai, 2020). Bu bütüncül işlem hattı, sistem performansının belirlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır.

EEG tabanlı beyin bilgisayar arayüzlerinde yaygın olarak kullanılan sinirsel veri paradigmalarından biri motor imgelemedir. Motor imgeleme, bireyin fiziksel bir hareketi gerçekleştirmeden o hareketi zihninde canlandırması sonucu ortaya çıkan sinirsel etkinlik örüntülerine dayanmaktadır ve gerçek hareket sırasında oluşan beyin aktivitesine benzer özellikler göstermektedir (Das vd., 2025; Jois vd., 2016). Bunun yanı sıra, belirli duygusal ya da bilişsel olaylara zaman-kilitli beyin yanıtlarını temsil eden Olay İlişkili Potansiyeller (Event Related Potentials - ERP) de BBA sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle P300 ve Sabit Durum Görsel Uyarılmış Potansiyellerinin (Steady State Visual Evoked Potentials - SSVEP), farklı uygulama senaryolarında etkili sonuçlar sunduğu ifade edilmektedir (Da Silva-Sauer vd., 2019; Yadav & Maini, 2025). Bu paradigmalar, EEG sinyallerinin görev odaklı yorumlanmasına olanak tanımaktadır.

Son yıllarda derin öğrenme tabanlı yaklaşımların, EEG sinyallerinin sınıflandırılmasında önemli kazanımlar sağladığı görülmektedir. Evrimsel sinir ağları ile uzun kısa süreli bellek ağlarını birleştiren hibrit mimarilerin, sınıflandırma doğruluğunu anlamlı biçimde artırdığı rapor edilmektedir (Das vd., 2025; Nemes & Eigner, 2025). Bu gelişmeler, sinirsel verilerin zamansal ve uzamsal özelliklerinin daha etkili biçimde modellenmesine katkı sunmaktadır.

Beyin bilgisayar arayüzleri, geleneksel insan bilgisayar etkileşimi yaklaşımlarından farklı olarak, fiziksel girdilere dayanmayan doğrudan beyin aygıt iletişimi sunmaktadır. Klavye, fare veya dokunmatik ekran gibi çevresel sinir sistemi aracılığıyla gerçekleşen etkileşimlerin aksine, BBA'lar sinirsel sinyalleri doğrudan yorumlayarak harici aygıtların kontrol edilmesini mümkün kılmaktadır (Ajel vd., 2024; Saxena vd., 2024). Bu yaklaşım, insan bilgisayar etkileşiminin sınırlarını genişleten bir paradigma değişimine işaret etmektedir.

Bu doğrudan etkileşim biçimi, özellikle düşünce temelli kontrol olanağı sunması nedeniyle yeni etkileşim modellerinin ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır. Beyin bilgisayar arayüzlerinin, ciddi motor kısıtlılıkları bulunan bireyler için dönüştürücü bir potansiyel taşıdığı ve etkileşim olanaklarını önemli ölçüde genişlettiği vurgulanmaktadır (Scott & Rafferty, 2021; Thakur vd., 2025). Bu bağlamda BBA'lar, erişilebilirlik ve kapsayıcılık açısından kritik bir rol üstlenmektedir.

Bununla birlikte, bireyler arasındaki sinirsel etkinlik farklılıkları, kişiselleştirilmiş beyin bilgisayar arayüzlerinin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Kullanıcıya özgü fizyolojik ve bilişsel özelliklerin dikkate alındığı kişiselleştirilmiş sistemlerin, performans ve kullanıcı deneyimi açısından daha etkili sonuçlar sunduğu belirtilmektedir (Ma vd., 2023). Bu durum, evrensel çözümler yerine uyarlanabilir yaklaşımların önemini ortaya koymaktadır.

Geleneksel insan bilgisayar etkileşimi modelleri ile beyin bilgisayar arayüzleri karşılaştırıldığında, iki yaklaşım arasındaki temel fark etkileşim biçiminde ortaya çıkmaktadır. Geleneksel etkileşim, fiziksel arayüzler ve komutlar üzerinden gerçekleşirken, beyin bilgisayar arayüzleri sinirsel verilerin yorumlanmasına dayalı daha doğrudan bir etkileşim sunmaktadır (Kumar vd., 2025). Bu doğrudanlık, etkileşimin sezgisel boyutunu güçlendirme potansiyeli taşımaktadır (Semertzidis vd., 2023). Bu karşılaştırma, BBA'ların insan bilgisayar etkileşimi alanında yeni bir konumlandırma sunduğunu göstermektedir.

Beyin bilgisayar arayüzlerinin yaygın ve etkili biçimde kullanılabilmesi, bazı temel zorlukların aşılmasını gerektirmektedir. Gerçek zamanlı sinyal işleme ve hızlı geri bildirim sunulmasının, sistem etkinliği açısından kritik olduğu ifade edilmektedir (Das vd., 2025; Thakur vd., 2025). Bunun yanı sıra, kullanıcı performansını ve sistem doğruluğunu artırmak için standartlaştırılmış eğitim protokollerinin geliştirilmesinin gerekli olduğu belirtilmektedir (Mladenović, 2021). Bu teknik gereksinimler, sistem tasarımının önemli bileşenleri arasında yer almaktadır.

Teknolojik gelişmelere paralel olarak, etik, gizlilik ve veri güvenliği gibi konuların da beyin bilgisayar arayüzleri bağlamında ele alınması gerektiği vurgulanmaktadır. Sinirsel verilerin hassas yapısı nedeniyle, bu teknolojilerin yaygınlaşmasında etik ve güvenlik boyutlarının belirleyici olduğu ifade edilmektedir (Karikari & Koshechkin, 2023; Saxena vd., 2024). Bu çerçevede etik tartışmalar, BBA araştırmalarının ayrılmaz bir parçası haline gelmektedir.

EEG temelli beyin bilgisayar arayüzleri, sinirsel veri işleme teknikleri aracılığıyla beyin ile aygıtlar arasında doğrudan bir iletişim kurulmasını mümkün kılmaktadır. Bu yaklaşım, geleneksel etkileşim modellerine kıyasla bedensel ve bilişsel etkileşimin sınırlarını yeniden tanımlamaktadır. Özellikle erişilebilirlik ve etkileşim çeşitliliği açısından sunduğu olanaklar, bu teknolojinin önemini daha da artırmaktadır.

3.2. Oyun Bağlamında BBA Türleri ve Literatür Eğilimleri

Dijital oyunlarda kullanılan beyin bilgisayar arayüzleri, literatürde genel olarak aktif, reaktif ve pasif olmak üzere üç temel paradigma altında sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma, kullanıcının sinirsel etkinliğinin oyuna nasıl yansıtıldığına ve etkileşimin hangi düzeyde bilinçli kontrol gerektirdiğine göre yapılmaktadır. Her bir paradigma, oyun bağlamında farklı etkileşim biçimleri ve deneyim olanakları sunmaktadır.

- **Aktif beyin bilgisayar arayüzleri:** kullanıcının bilinçli ve istemli beyin etkinliği yoluyla oyun öğelerini doğrudan kontrol etmesine olanak tanımaktadır. Bu paradigmda kullanıcılar, belirli zihinsel görevleri yerine getirerek kontrol komutları üretmektedir. Motor imgelemenin, oyun içi eylemlerin kontrolünde en yaygın kullanılan tekniklerden biri olduğu belirtilmektedir (Arpaia vd., 2025; He vd., 2022; Wang vd., 2019). Aktif beyin bilgisayar arayüzlerinin, özellikle fiziksel engeli bulunan kullanıcılar için alternatif bir etkileşim ve kontrol olanağı sunduğu vurgulanmaktadır (Angrisani vd., 2021; Frey vd., 2017). Bu yaklaşım, kullanıcı iradesine dayalı etkileşim modellerinin temelini oluşturmaktadır.
- **Reaktif beyin bilgisayar arayüzleri:** kullanıcının dış uyaranlara verdiği sinirsel tepkilere dayalı olarak çalışmaktadır. Bu bağlamda sabit durum görsel uyarılmış potansiyellerinin, belirli frekanslardaki görsel uyaranlara karşı oluşan beyin yanıtları aracılığıyla kontrol sinyalleri üretmek için yaygın biçimde kullanıldığı ifade edilmektedir (Legény vd., 2013; Porssut vd., 2023; Wang vd., 2019). Bu yöntemin, yüksek bilgi aktarım hızı ve görece dayanıklılığı sayesinde gerçek zamanlı oyun etkileşimleri için avantaj sağladığı belirtilmektedir (Keutayeva vd., 2025; Legény

vd., 2013). Reaktif yaklaşımlar, uyarıcı temelli etkileşimlerin oyun tasarımındaki potansiyelini ortaya koymaktadır.

- **Pasif beyin bilgisayar arayüzleri:** kullanıcının bilinçli bir kontrol girişiminde bulunmasını gerektirmemekte, bunun yerine zihinsel durumu izleyerek oyun ortamını uyarlamaktadır. Bu paradigmda sistem, bilişsel yük veya duygusal durum gibi değişkenleri algılayarak oyun zorluğunu ayarlamak ya da gerçek zamanlı geri bildirim sunmak amacıyla kullanılmaktadır (Gherman vd., 2025; Girouard vd., 2009, 2013; Lotte & Roy, 2018). Özellikle fonksiyonel yakın kızılötesi spektroskopisi kullanılarak beyin etkinliğinin ölçülmesi ve oyun zorluğunun gerçek zamanlı olarak uyarlanması, pasif yaklaşımlara örnek olarak gösterilmektedir (Girouard vd., 2009, 2013). Bu yaklaşım, oyun deneyiminin kullanıcı durumuna duyarlı biçimde düzenlenmesini mümkün kılmaktadır.

Güncel literatürde, farklı beyin bilgisayar arayüzü türlerinin oyun ortamlarına entegrasyonuna yönelik artan bir ilgi olduğu görülmektedir. EEG temelli beyin bilgisayar arayüzlerinin, invaziv olmamaları, yüksek zamansal çözünürlük sunmaları ve taşınabilir yapıları nedeniyle oyun araştırmalarında en yaygın kullanılan yöntemler arasında yer aldığı belirtilmektedir (He vd., 2022; Rahman vd., 2025). Deneysel prototiplerde, motor imgeleme ve sabit durum görsel uyarılmış potansiyellerinin kullanılarak Tetris ve Pacman gibi oyunların kontrol edilebildiği gösterilmiştir (Girouard vd., 2009; Wang vd., 2019). Bu çalışmalar, beyin bilgisayar arayüzlerinin oyun bağlamında uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır.

Ayrıca hibrit beyin bilgisayar arayüzlerinin, birden fazla paradigmayı bir araya getirerek kontrol doğruluğunu ve kullanıcı deneyimini artırma potansiyeline sahip olduğu ifade edilmektedir. Motor imgeleme ve sabit durum görsel uyarılmış potansiyellerini birleştiren yaklaşımların, etkileşim güvenilirliğini artırdığı ve kullanıcı yükünü dengelediği belirtilmektedir (Wang vd., 2019). Bu tür hibrit sistemler, tekil paradigmalara kıyasla daha esnek etkileşim modelleri sunmaktadır.

Akademik oyun araştırmalarında kullanılan beyin bilgisayar arayüzü modaliteleri incelendiğinde, elektroensefalografinin en yaygın yöntem olduğu görülmektedir. EEG'nin, aktif ve reaktif beyin bilgisayar arayüzlerinde yüksek zamansal çözünürlük sağlaması nedeniyle tercih edildiği belirtilmektedir (He vd., 2022; Rahman vd., 2025; Wang vd., 2019). Buna ek olarak, pasif yaklaşımlarda bilişsel yük ve duygusal durumların ölçümüne olanak tanıyan fonksiyonel yakın kızılötesi spektroskopinin de kullanıldığı ifade edilmektedir (Girouard vd., 2009, 2013) Sabit durum görsel uyarılmış potansiyelleri ise reaktif sistemlerde yüksek bilgi aktarım hızı sunması nedeniyle öne çıkmaktadır (Keutayeva vd., 2025; Legény vd., 2013; Porsst vd., 2023).

Bu ilerlemelere rağmen, dijital oyunlarda beyin bilgisayar arayüzlerinin kullanımında çeşitli zorluklar devam etmektedir. EEG sinyallerindeki artefaktların yönetilmesi, gerçek zamanlı sistem performansının sağlanması ve kullanıcı konforunun artırılması, öne çıkan temel sorunlar arasında yer almaktadır (Gherman vd., 2025; Rahman vd., 2025; Zhang vd., 2024). Gelecek çalışmaların, sanal gerçeklik gibi ortaya çıkan teknolojilerle beyin bilgisayar arayüzlerinin bütünleştirilmesine odaklanarak daha sürükleyici ve uyarlanabilir oyun deneyimleri geliştirmeyi hedeflemesi gerektiği vurgulanmaktadır (Gherman vd., 2025; Porsst vd., 2023). Bu yönelimler, alanın gelişim eksenlerini ortaya koymaktadır.

Dijital oyunlarda beyin bilgisayar arayüzleri, aktif, reaktif ve pasif paradigmlar çerçevesinde farklı etkileşim biçimleri sunmaktadır. EEG, bu bağlamda en yaygın kullanılan modalite olarak öne çıkmakta ve mevcut araştırmalar, teknik sınırlılıkların aşılmasına ve kullanıcı deneyiminin iyileştirilmesine yönelik çözümler geliştirmeye odaklanmaktadır. Bu sınıflandırma, beyin bilgisayar arayüzlerinin oyun deneyimindeki konumunun daha net biçimde anlaşılmasına katkı sağlamaktadır.

3.3. Duygusal ve Bilişsel Veriye Dayalı Adaptif Oyun Deneyimi

Beyin bilgisayar arayüzlerinin oyun tasarımına entegrasyonu, oyuncunun duygusal ve bilişsel durumlarının oyun mekaniği ve geribildirim yapılarıyla ilişkilendirilmesini mümkün kılmaktadır. Bu yaklaşım, oyun deneyiminin yalnızca kullanıcı girdilerine değil, aynı zamanda oyuncunun anlık zihinsel durumuna duyarlı biçimde şekillendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu doğrultuda yapılan çalışmalar, duygusal ve bilişsel süreçlerin oyun içi etkileşimlerde giderek daha merkezi bir rol üstlendiğini göstermektedir.

Duyguların tanınması, bu entegrasyonun temel bileşenlerinden biri olarak ele alınmaktadır. EEG sinyallerine dayalı beyin bilgisayar arayüzlerinin, tek elektrotlu basit sistemler kullanıldığında dahi temel ve karmaşık duyguları ayırt edebildiği ve oyun sırasında gerçek zamanlı duygu tanıma olanağı sunduğu belirtilmektedir (Carofiglio vd., 2019; Yoon vd., 2013). Bu yaklaşımın, oyuncunun duygusal durumuna

uyum sağlayarak deneyimi zenginleştirdiği ifade edilmektedir. Böylece oyun, oyuncunun anlık duygusal tepkilerine daha duyarlı hale gelmektedir.

Bilişsel durumların izlenmesi de oyun deneyiminin uyarlanmasıyla önemli bir rol oynamaktadır. Dikkat, meditasyon ve zihinsel yorgunluk gibi bilişsel durumların EEG aracılığıyla izlenebildiği ve bu verilerin oyun zorluğunun ve mekaniklerinin dinamik biçimde ayarlanmasında kullanılabildiği belirtilmektedir (Duraisamy vd., 2025; Ntetska vd., 2025; Wu vd., 2014). Bu tür uyarlamaların, oyunun ne aşırı zorlayıcı ne de yetersiz düzeyde uyarıcı olmasını sağlayarak oyuncu katılımını ve akış durumunu desteklediği ifade edilmektedir. Bu durum, bilişsel dengeye dayalı tasarım yaklaşımlarının önemini ortaya koymaktadır.

Beyin bilgisayar arayüzlerinin oyun tasarımında kullanılması, geleneksel geribildirim döngülerinin dönüşümüne de katkı sunmaktadır. Gerçek zamanlı EEG verilerinin kullanımıyla, oyunların zorluk düzeyleri ve çevresel özellikleri anlık olarak uyarlanabilmektedir. Oyuncunun yeterince zorlanmadığı durumlarda zorluğun artırılması ya da yorgunluk ve hayal kırıklığı tespit edildiğinde bu düzeyin azaltılması gibi yaklaşımların uygulanabildiği belirtilmektedir (Carofiglio vd., 2019; Duraisamy vd., 2025; Ntetska vd., 2025). Bu tür uyarlamalar, oyun içi geribildirim daha duyarlı ve işlevsel hale gelmesini sağlamaktadır.

Sürükleyiciliğin artırılması bağlamında, beyin bilgisayar arayüzlerinin sanal gerçeklik ortamlarıyla bütünleştirilmesine yönelik çalışmalar da dikkat çekmektedir. Oyuncunun zihinsel durumlarının oyun öğelerini kontrol etmekte kullanılması, daha etkileşimli ve duyarlı sanal ortamların oluşturulmasına olanak tanımaktadır (Baqapuri vd., 2021; Cattan vd., 2020; Wozniak vd., 2021). Bu entegrasyonun, oyuncunun bilişsel ve duygusal durumlarına gerçek zamanlı yanıt veren daha derin bir deneyim sunduğu ifade edilmektedir. Böylece geribildirim döngüleri yalnızca görsel ve işitsel değil, bilişsel temelli hale gelmektedir.

Uyarlanabilir oyun mekanikleri, bu yaklaşımın bir diğer önemli bileşeni olarak öne çıkmaktadır. Oyunların, oyuncunun bilişsel yükü ve duygusal durumuna bağlı olarak zorluk düzeylerini dinamik biçimde ayarlayabildiği belirtilmektedir. Örneğin, oyuncunun aşırı rahat olduğu durumlarda gerilimin artırılması ya da yüksek stres tespit edildiğinde yoğunluğun azaltılması gibi uyarlamaların mümkün olduğu ifade edilmektedir (Carofiglio vd., 2019; Ilgner vd., 2013). Bu tür mekanikler, oyun deneyiminin dengeli biçimde sürdürülmesine katkı sunmaktadır.

Beyin bilgisayar arayüzleri aynı zamanda zihinsel durumların doğrudan oyun komutlarına dönüştürülmesine olanak tanımaktadır. Odaklanma düzeyinin oyun içi eylemleri kontrol etmekte kullanıldığı sistemlerin, daha sezgisel ve sürükleyici bir etkileşim sunduğu belirtilmektedir (Tezza vd., 2019; Vasiljevic vd., 2018; Wu vd., 2014). Bu yaklaşımda oyun, oyuncunun zihinsel çabasına doğrudan yanıt veren bir yapı kazanmaktadır. Bu durum, kontrol algısının yeniden tanımlanmasına yol açmaktadır.

Buna ek olarak, EEG verilerinin diğer fizyolojik ölçümlerle birlikte kullanılması, oyuncunun durumuna ilişkin daha kapsamlı bir değerlendirme yapılmasını mümkün kılmaktadır. Çoklu veri kaynaklarına dayalı bu yaklaşımların, uyarlanabilir mekaniklerin doğruluğunu ve tepkiselliğini artırdığı belirtilmektedir (Duraisamy vd., 2025; Lotte & Roy, 2018). Bu bütüncül yapı, oyuncu deneyiminin daha hassas biçimde modellenmesine olanak tanımaktadır.

Duygusal ve bilişsel durumlara sürekli olarak uyum sağlayan oyun sistemlerinin, oyuncunun akış durumunu sürdürmede etkili olduğu ifade edilmektedir. Beyin bilgisayar arayüzlerinin bu bağlamda, oyuncunun oyuna tam olarak dâhil olduğu ve yüksek düzeyde katılım gösterdiği optimal deneyim durumlarını desteklediği belirtilmektedir (Arora vd., 2019; Carofiglio vd., 2019; Tezza vd., 2019). Bu yaklaşım, oyun deneyiminin niteliğini doğrudan etkileyen bir tasarım aracı olarak değerlendirilmektedir.

Kullanıcı odaklı tasarım anlayışı çerçevesinde, gerçek zamanlı sinirsel veriler ve kullanıcı geri bildirimlerine dayalı uyarlamaların, oyunun oyuncunun yetkinlikleri ve tercihleriyle uyumlu kalmasını sağladığı vurgulanmaktadır (Atilla vd., 2024; Ilgner vd., 2013). Bu durum hem kullanıcı memnuniyetinin hem de performansın artırılmasına katkı sunmaktadır.

Beyin bilgisayar arayüzlerinin oyun tasarımına entegrasyonu, duygusal ve bilişsel durumlara duyarlı, uyarlanabilir ve tepkisel oyun deneyimlerinin geliştirilmesini mümkün kılmaktadır. Gerçek zamanlı sinirsel veriler aracılığıyla geribildirim döngülerinin dönüştürülmesi ve oyun mekaniklerinin uyarlanması, etkileşimli eğlence alanında önemli bir ilerleme olarak değerlendirilmektedir. Bu yaklaşım, oyuncu deneyiminin daha bütüncül ve kişiselleştirilmiş biçimde ele alınmasına olanak tanımaktadır.

4. SONUÇ

Bu çalışma, beyin bilgisayar arayüzleri ile oyun deneyimi arasındaki ilişkiyi, döküman analizi yoluyla mevcut literatür üzerinden bütüncül bir çerçevede ele almıştır. İncelenen çalışmalar, oyun deneyiminin yalnızca görsel, işitsel ya da mekanik bileşenlerle sınırlı olmadığını, bilişsel ve duygusal süreçlerle doğrudan ilişkili çok katmanlı bir yapı sergilediğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda beyin bilgisayar arayüzleri, oyunlarda alternatif bir kontrol yöntemi olmanın ötesinde, oyuncu deneyiminin algılanış biçimini dönüştüren yenilikçi bir etkileşim yaklaşımı olarak değerlendirilmektedir.

Literatür sentezi, beyin bilgisayar arayüzlerinin oyun deneyimine entegrasyonunun özellikle dikkat, duygu durumu ve bilişsel yük gibi zihinsel süreçler üzerinden anlam kazandığını göstermektedir. Aktif, reaktif ve pasif beyin bilgisayar arayüzü paradigmaları, oyunlarda farklı etkileşim ve deneyim biçimleri sunmakta; oyuncunun zihinsel durumunun doğrudan ya da dolaylı biçimde oyun mekaniğine yansıtılmasına olanak tanımaktadır. Bu durum, oyun deneyiminin statik bir yapıdan ziyade, oyuncunun anlık bilişsel ve duygusal durumlarına uyum sağlayabilen dinamik bir süreç olarak ele alınmasını gerekli kılmaktadır.

Çalışmada ele alınan araştırmalar, beyin bilgisayar arayüzlerinin oyun deneyimini derinleştirme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymakla birlikte, bu potansiyelin henüz sınırlı ölçüde hayata geçirildiğini de göstermektedir. Mevcut çalışmaların büyük bir bölümünün teknik uygulanabilirliğe ve sinyal işleme doğruluğuna odaklandığı, buna karşın oyun deneyiminin öznel, algısal ve tasarımsal boyutlarının ikincil planda kaldığı görülmektedir. Özellikle kontrol algısı, eğlence, akış durumu ve memnuniyet gibi deneyimsel değişkenlerin, teknik performans göstergeleriyle birlikte ele alındığı çalışmaların sınırlı olduğu dikkat çekmektedir.

Beyin bilgisayar arayüzlerinin oyun bağlamında kullanımına ilişkin temel sınırlılıklar arasında, uzun ve tekrarlı eğitim süreçleri, kullanıcı yorgunluğu, sinirsel verilerin bireyler arası farklılık göstermesi ve gerçek zamanlı geri bildirim döngülerinin tasarlanmasındaki zorluklar yer almaktadır. Bunun yanı sıra, kullanıcıların beyin etkinliklerini istemli biçimde düzenlemekte yaşadığı güçlükler, deneyim algısı ile ölçülebilir performans arasındaki farkı daha görünür hale getirmektedir. Bu durum, oyun deneyiminin yalnızca nesnel ölçütler üzerinden değerlendirilmesinin yeterli olmadığını, öznel algının merkezi bir rol üstlendiğini göstermektedir.

Gelecek çalışmalara yönelik olarak, beyin bilgisayar arayüzlerinin oyun deneyimi bağlamında daha bütüncül ve kullanıcı odaklı biçimde ele alınması gerekmektedir. Özellikle adaptif oyun mekaniklerinin, oyuncunun bilişsel ve duygusal durumlarına duyarlı biçimde tasarlanması, akış durumunu destekleyen ve kullanıcı konforunu gözetilen deneyimlerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca beyin bilgisayar arayüzlerinin sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik ve yapay zekâ tabanlı sistemlerle bütünleştirilmesi, daha sürükleyici ve kişiselleştirilmiş oyun deneyimlerinin önünü açabilecek önemli bir araştırma alanı olarak öne çıkmaktadır.

Sonuç olarak bu çalışma, beyin bilgisayar arayüzlerinin oyun deneyimi literatüründeki konumunu kavramsal bir çerçevede ortaya koyarak, alanın mevcut durumuna ve gelişim potansiyeline ilişkin bütüncül bir değerlendirme sunmaktadır. Oyun deneyiminin bilişsel ve duygusal boyutlarını merkeze alan bu yaklaşım, beyin bilgisayar arayüzlerinin gelecekte yalnızca teknik bir yenilik olarak değil, deneyim tasarımını yeniden şekillendiren temel bir etkileşim paradigması olarak ele alınabileceğini göstermektedir.

KAYNAKÇA

- Abbasi, A. Z., Fayyaz, M. S., Abbasi, G. A., Rather, R. A., & Hussain, A. (2025). Deriving gamers' subjective well-being through satisfaction, cognitive, affective, and behavioral engagement: Symmetrical and asymmetrical approaches. *Acta Psychologica*, 260. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2025.105632>
- Ajel, R. I., Shati, N. M., & Abdullatif, F. A. (2024). A Comprehensive Analysis of the Design of Brain-Computer Interface Systems Utilizing Electroencephalography as a Means of Measurement: A Survey. *Ingenierie des Systemes d'Information*, 29(5), 1967-1979. <https://doi.org/10.18280/isi.290528>
- Alexander, A. O., Afolalu, S. A., Ogunnigbo, O. C., Ikumapayi, O. M., Ibisio, I. B., & Adebayo, O. T. (2024). Advancements in Brain-Computer Interface (BCI) Technology: Mechanisms and Future Directions. *IEEE International Conference on Emerging and Sustainable Technologies for Power and ICT in a Developing Society, NIGERCON*, (2024). <https://doi.org/10.1109/NIGERCON62786.2024.10927404>
- Almeida, S., Veloso, A., Roque, L., & Mealha, O. (2013). Assessing player motivations and expectations within a gameplay experience model proposal. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 8253 LNCS, 497-500. https://doi.org/10.1007/978-3-319-03161-3_37
- Althekair, A., Odeh, M., AlBayaa, M., Sharawi, M., & Doush, I. A. (2023). Mobile Gaming EMG-Based Brain Computer Interface. *Communications in Computer and Information Science*, 1996 CCIS, 40-52. https://doi.org/10.1007/978-3-031-49425-3_3
- Ames-Guerrero, R. J., Castro-Gutierrez, E., Ramos-Quispe, T., & Muñoz-Arteaga, J. (2020). The Experience and Cognitive Performance as a Gamer during the Use of Educational Video Games. *CEUR Workshop Proceedings*, 3099, 87-97.
- Angrisani, L., Arpaia, P., Esposito, A., Gargiulo, L., Natalizio, A., Mastrati, G., Moccaldi, N., & Parvis, M. (2021). Passive and active brain-computer interfaces for rehabilitation in health 4.0. *Measurement: Sensors*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2021.100246>
- Arora, H., Agrawal, A. P., & Choudhary, A. (2019). Conceptualizing BCI and AI in Video Games. *Proceedings - 2019 International Conference on Computing, Communication, and Intelligent Systems, ICCIS 2019, 2019-January*, 404-408. <https://doi.org/10.1109/ICCIS48478.2019.8974549>
- Arpaia, P., Esposito, A., Galasso, E., Galdieri, F., & Natalizio, A. (2025). A wearable brain-computer interface to play an endless runner game by self-paced motor imagery. *Journal of Neural Engineering*, 22(2). <https://doi.org/10.1088/1741-2552/adc205>
- Atila, F., Postma, M., & Alimardani, M. (2024). Gamification of motor imagery brain-computer interface training protocols: A systematic review. *Computers in Human Behavior Reports*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2024.100508>
- Baqapuri, H. I., Roes, L. D., Zvyagintsev, M., Ramadan, S., Keller, M., Roecher, E., Zweerings, J., Klasen, M., Gur, R. C., & Mathiak, K. (2021). A Novel Brain-Computer Interface Virtual Environment for Neurofeedback During Functional MRI. *Frontiers in Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.593854>
- Bostan, B., & Şahinler, T. G. (2024). FROM PERCEPTION TO PERFORMANCE: UNDERSTANDING PLAYER INFLUENCE IN DYNAMIC GAMING ENVIRONMENTS. *25th International Conference on Intelligent Games and Simulation, GAME-ON 2024*, 41-46.
- Bowman, N. D., Keene, J. R., & Najera, C. J. (2021). Flow encourages task focus, but frustration drives task switching how reward and effort combine to influence player engagement in a simple video game. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*. <https://doi.org/10.1145/3411764.3445678>
- Carofiglio, V., de Carolis, B., & D'Errico, F. (2019). A BCI-based Assessment of a player's state of mind for game adaptation. *CEUR Workshop Proceedings*, 2480.

- Carrigy, T., Naliuka, K., Paterson, N., & Haahr, M. (2010). Design and evaluation of player experience of a location-based mobile game. *NordiCHI 2010: Extending Boundaries - Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction*, 92-101. <https://doi.org/10.1145/1868914.1868929>
- Cattan, G., Andreev, A., & Visinoni, E. (2020). Recommendations for integrating a P300-based brain-computer interface in virtual reality environments for gaming: An update. *Computers*, 9(4), 1-26. <https://doi.org/10.3390/computers9040092>
- Chen, A. E., Gedney, X., & Roberts, J. (2025). A Haptic Device for Tennis Simulation: Dual-Flywheel System for Rendering Virtual Impact. *Proceedings - 2025 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops, VRW 2025*, 361-365. <https://doi.org/10.1109/VRW66409.2025.00084>
- Chen, J. (2007). Flow in games (and everything else). *Communications of the ACM*, 50(4), 31-34. <https://doi.org/10.1145/1232743.1232769>
- Chu, K., Wong, C. Y., & Khong, C. W. (2011). Methodologies for evaluating player experience in game play. *Communications in Computer and Information Science*, 173 CCIS(PART 1), 118-122. https://doi.org/10.1007/978-3-642-22098-2_24
- Cummins, R. G. (2009). The effects of subjective Camera and Fanship on viewers' experience of presence and perception of play in Sports Telecasts. *Journal of Applied Communication Research*, 37(4), 374-396. <https://doi.org/10.1080/00909880903233192>
- Da Silva-Sauer, L., De La Torre-Luque, A., Silva, J. S. C., & Fernández-Calvo, B. (2019). New perspectives for cognitive rehabilitation: Could brain-computer interface systems benefit people with dementia? *Psychology and Neuroscience*, 12(1), 25-37. <https://doi.org/10.1037/pne0000154>
- Das, A., Singh, S., Kim, J., Ahanger, T. A., & Pise, A. A. (2025). Enhanced EEG signal classification in brain computer interfaces using hybrid deep learning models. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-07427-2>
- Denisova, A., & Cairns, P. (2015). First person vs. Third person perspective in digital games: Do player preferences affect immersion? *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings, 2015-April*, 145-148. <https://doi.org/10.1145/2702123.2702256>
- do Nascimento, D. F., Velasco, G. C., Barbosa, B. M., Carvalho, S. T., & Berretta, L. D. O. (2026). Player Experience Evaluation in Digital Games: A Multidimensional Model. *Lecture Notes in Computer Science, 16108 LNCS*, 307-316. https://doi.org/10.1007/978-3-032-04999-5_19
- Drachen, A., Yannakakis, G., Nacke, L. E., & Pedersen, A. L. (2010). Correlation between heart rate, electrodermal activity and player experience in first-person shooter games. *Proceedings - Sandbox 2010: 5th ACM SIGGRAPH Symposium on Video Games*, 49-54. <https://doi.org/10.1145/1836135.1836143>
- Duraisamy, S., Roeser, N., Dubiel, M., & Leiva, L. A. (2025). An Adaptive Brain-Computer Interface Game with Blink Controls and Cognitive State Monitoring. *International Conference on Intelligent User Interfaces, Proceedings IUI*, 129-132. <https://doi.org/10.1145/3708557.3716365>
- Erb, V., Lee, S., & Doh, Y. Y. (2021). Player-Character Relationship and Game Satisfaction in Narrative Game: Focus on Player Experience of Character Switch in The Last of Us Part II. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.709926>
- Eshuis, S., Pozzebon, K., Allen, A., & Kannis-Dymand, L. (2023). Player Experience and Enjoyment: A Preliminary Examination of Differences in Video Game Genre. *Simulation and Gaming*, 54(2), 209-220. <https://doi.org/10.1177/10468781231158818>
- Fraçz, W. (2021). Techniques, Challenges and Use in Rehabilitation Medicine of EEG-Based Brain-Computer Interfaces Systems. *Advances in Intelligent Systems and Computing, 1362 AISC*, 72-78. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72254-8_8

- Frey, J., Jeunet, C., Mladenović, J., Pillette, L., & Lotte, F. (2017). When HCI meets neurotechnologies: What you should know about Brain-Computer Interfaces. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings, Part F127655*, 1253-1256. <https://doi.org/10.1145/3027063.3027100>
- Gherman, D. E., Krol, L. R., Klug, M., & Zander, T. O. (2025). An investigation of a passive BCI's performance for different body postures and presentation modalities. *Biomedical Physics and Engineering Express*, 11(2). <https://doi.org/10.1088/2057-1976/adb58b>
- Gholizadeh Hamlabadi, K., Laamarti, F., & El Saddik, A. (2024). Meta-Review on Brain-Computer Interface (BCI) in the Metaverse. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications and Applications*, 20(12). <https://doi.org/10.1145/3696109>
- Girouard, A., Solovey, E. T., Hirshfield, L. M., Chauncey, K., Sassaroli, A., Fantini, S., & Jacob, R. J. K. (2009). Distinguishing difficulty levels with non-invasive brain activity measurements. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 5726 LNCS(PART 1), 440-452. https://doi.org/10.1007/978-3-642-03655-2_50
- Girouard, A., Solovey, E. T., & Jacob, R. J. K. (2013). Designing a passive brain computer interface using real time classification of functional near-infrared spectroscopy. *International Journal of Autonomous and Adaptive Communications Systems*, 6(1), 26-44. <https://doi.org/10.1504/IJAACS.2013.050689>
- He, F., Dong, B., Han, J., Li, Y., Xu, M., & Ming, D. (2022). Advances in Application of Game Brain-Computer Interface Based on ElectroEncephaloGram. *Dianzi Yu Xinxu Xuebao/Journal of Electronics and Information Technology*, 44(2), 415-423. <https://doi.org/10.11999/JEIT211337>
- Huang, W.-H. D., & Tettegah, S. (2015). Cognitive load and empathy in serious games: A conceptual framework. *Içinde Gamification for Human Factors Integration: Social, Education, and Psychological Issues* (ss. 17-30). <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-5071-8.ch002>
- Ilgner, J., Kuhlmann, R., Eirund, H., & Hering-Bertram, M. (2013). Interacting in 3D virtual worlds with Brain Computer Interfaces. *21st International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision, WSCG 2013 - Communication Papers Proceedings*, 78-87.
- Jois, K., Garg, R., Singh, V., & Darji, A. (2016). Comparative analysis of classification techniques for motor imagery based BCI. *2015 IEEE Workshop on Computational Intelligence: Theories, Applications and Future Directions, WCI 2015*. <https://doi.org/10.1109/WCI.2015.7495507>
- Kaplan, N. U., & Coşgun, G. E. (2025). IMMersed in Learning: Exploring Flow in Digital Escape Room Games for EFL Teachers. *Studies in Linguistics, Culture and FLT*, 13(2), 138-161. <https://doi.org/10.46687/MNZE3147>
- Karikari, E., & Koshechkin, K. A. (2023). Review on brain-computer interface technologies in healthcare. *Biophysical Reviews*, 15(5), 1351-1358. <https://doi.org/10.1007/s12551-023-01138-6>
- Keutayeva, A., Jesse Nwachukwu, C., Alaran, M., Otarbay, Z., & Abibullaev, B. (2025). Neurotechnology in Gaming: A Systematic Review of Visual Evoked Potential-Based Brain-Computer Interfaces. *IEEE Access*, 13, 74940-74962. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3564328>
- Kiili, K., Perttula, A., & Suominen, M. (2014). Flow experience as a quality measure in evaluating physically activating serious games. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 8605, 200-212. https://doi.org/10.1007/978-3-319-12157-4_16
- Kumar, V., Kaushal, H., & Bisht, M. (2025). Bridging Minds and Machines: The Convergence of Human-Computer and Brain-Computer Interfaces. *2025 8th International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies, ICCPCT 2025*, 2051-2057. <https://doi.org/10.1109/ICCPCT65132.2025.11176560>
- Legény, J., Vicianá-Abad, R., & Lécuyer, A. (2013). Toward contextual SSVEP-based BCI controller: Smart activation of stimuli and control weighting. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, 5(2), 111-116. <https://doi.org/10.1109/TCIAIG.2013.2252348>

- Lim, S., & Reeves, B. (2010). Computer agents versus avatars: Responses to interactive game characters controlled by a computer or other player. *International Journal of Human Computer Studies*, 68(1-2), 57-68. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2009.09.008>
- Long, M., & Gutwin, C. (2019). Effects of local latency on game pointing devices and game pointing tasks. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300438>
- Lotte, F., & Roy, R. N. (2018). Brain-computer interface contributions to neuroergonomics. *Çinde Neuroergonomics: The Brain at Work and in Everyday Life* (ss. 43-48). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811926-6.00007-5>
- Luo, W., Al-Qaness, M. A. A., Li, Y., Shen, J., & Li, K. (2025). EEG-Based Brain-Computer Interface: Fundamentals, Methods, Applications, and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 12(24), 52024-52041. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2025.3625060>
- Ma, Y., Gong, A., Nan, W., Ding, P., Wang, F., & Fu, Y. (2023). Personalized Brain-Computer Interface and Its Applications. *Journal of Personalized Medicine*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/jpm13010046>
- Mancı, E., Güdücü, Ç., Günay, E., Güvendi, G., Campbell, M., & Bediz, C. Ş. (2024). The relationship between esports game genres and cognitive performance: A comparison between first-person shooter vs. multiplayer online battle arena games in younger adults. *Entertainment Computing*, 50. <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2024.100640>
- Mladenović, J. (2021). Standardization of protocol design for user training in EEG-based brain-computer interface. *Journal of Neural Engineering*, 18(1). <https://doi.org/10.1088/1741-2552/abcc7d>
- Nah, F. F.-H., Yelamanchili, T., & Siau, K. (2017). A review on neuropsychophysiological correlates of flow. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 10294 LNCS, 364-372. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58484-3_28
- Navrozidou, E., Karavidas, L., Katsanos, C., & Tsiatsos, T. (2025). Comparing Gaze-Based Interaction Methods in a Game Environment. *Lecture Notes in Computer Science*, 15816 LNCS, 288-297. https://doi.org/10.1007/978-3-031-92578-8_19
- Nemes, A. G., & Eigner, G. (2025). Evolution of Neural Architectures for EEG Motor Paradigm Processing: Current Trends and Future Directions. *SISY 2025 - IEEE 23rd International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, Proceedings*, 131-140. <https://doi.org/10.1109/SISY67000.2025.11205396>
- Ntetska, A., Mimou, A., Tzimourta, K. D., Angelidis, P., & Tsipouras, M. G. (2025). A Deep Learning Approach to Classifying User Performance in BCI Gaming. *Electronics (Switzerland)*, 14(24). <https://doi.org/10.3390/electronics14244974>
- Ohrankammen, J., Alavesa, P., & Arhippainen, L. (2021). Approaching Collaborative Flow in Collaborative Gaming, a Survey Study. *Conference of Open Innovation Association, FRUCT, 2021-October*, 148-154. <https://doi.org/10.23919/FRUCT53335.2021.9599982>
- Pasch, M., Bianchi-Berthouze, N., van Dijk, B., & Nijholt, A. (2009). Movement-based sports video games: Investigating motivation and gaming experience. *Entertainment Computing*, 1(2), 49-61. <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2009.09.004>
- Porssut, T., Gouret, A., Bryzgalov, D., Lafont, A., Rouze, S., & Bars, S. L. (2023). Low-Contrast SSVEP Stimuli to Improve User Experience of Brain-Computer Interface Involving Virtual Reality. *2023 IEEE International Conference on Metrology for eXtended Reality, Artificial Intelligence and Neural Engineering, MetroXRINE 2023 - Proceedings*, 793-798. <https://doi.org/10.1109/MetroXRINE58569.2023.10405804>
- Procci, K., James, N., & Bowers, C. (2013). The effects of gender, age, and experience on game engagement. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, 2132-2136. <https://doi.org/10.1177/1541931213571475>

- Rahman, A. U., Ali, S., Wason, R., Aggarwal, S., Abohashrh, M., Daradkeh, Y. I., & Ullah, I. (2025). Emotion-Based Mental State Classification Using EEG for Brain-Computer Interface Applications. *Computational Intelligence*, 41(4). <https://doi.org/10.1111/coin.70112>
- Saxena, S., Ranjan, M. K., & Sattar, A. M. (2024). Brain-Computer Interfaces: A Key to Neural Communication's Limitless Possibilities. *2024 1st International Conference on Cognitive, Green and Ubiquitous Computing, IC-CGU 2024*. <https://doi.org/10.1109/IC-CGU58078.2024.10530664>
- Schoenau-Fog, H. (2011). The player engagement process - An exploration of continuation desire in digital games. *Proceedings of DiGRA 2011 Conference: Think Design Play*.
- Scott, S. M., & Raftery, C. (2021). Brain-Computer Interfaces and Creative Expression: Interface Considerations for Rehabilitative and Therapeutic Interactions. *Frontiers in Computer Science*, 3. <https://doi.org/10.3389/fcomp.2021.718605>
- Sekhavat, Y. A., Roohi, S., Mohammadi, H. S., & Yannakakis, G. N. (2022). Play with One's Feelings: A Study on Emotion Awareness for Player Experience. *IEEE Transactions on Games*, 14(1), 3-12. <https://doi.org/10.1109/TG.2020.3003324>
- Semertzidis, N., Zambetta, F., & Mueller, F. F. (2023). Brain-Computer Integration: A Framework for the Design of Brain-Computer Interfaces from an Integrations Perspective. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 30(6). <https://doi.org/10.1145/3603621>
- Shan, B., Guo, Y., Wang, Y., Zhao, P., Wang, Y., Wang, Z., He, L., Liu, Y., Wang, Y., Guo, W., Zhang, Y., Dai, Z., Yu, X., & Wang, D. (2025). Fully Transparent Haptic Interface for High-Resolution Tactile Feedback on Touchscreens. *Advanced Science*, 12(42). <https://doi.org/10.1002/advs.202511874>
- Silva, B., Costelha, H., Bento, L. C., Barata, M., & Assuncao, P. (2020). User-experience with haptic feedback technologies and text input in interactive multimedia devices. *Sensors (Switzerland)*, 20(18), 1-17. <https://doi.org/10.3390/s20185316>
- Sridharan, S., Villa, S., Denisova, A., & Pirker, J. (2025). Exploring the (Placebo) Effect of an AI-Powered Dialogue System on Player Experience. *IEEE Conference on Computational Intelligence and Games, CIG*. <https://doi.org/10.1109/CoG64752.2025.11114156>
- Srinivasan, S. (2025). Virtual Remote Presence (VRP): Exploring the subjective feeling of presence in virtual reality games. *Içinde Virtual Reality Gaming: Perspectives on Immersion, Embodiment and Presence* (ss. 133-146). <https://doi.org/10.1108/978-1-83549-376-220251020>
- Tang, Z., & Kirman, B. (2025). Exploring Curiosity in Games: A Framework and Questionnaire Study of Player Perspectives. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 41(4), 2475-2490. <https://doi.org/10.1080/10447318.2024.2325171>
- Teles, J., Castro, M., Reinbold, I., Borges, B., & Darin, T. (2026). Player Experience with New Mechanics: A Mixed-Methods Study of Motivation, Emotion, and Engagement. *Communications in Computer and Information Science*, 2623 CCIS, 179-199. https://doi.org/10.1007/978-3-032-01426-9_12
- Teye Brown, J., & Zgallai, W. (2020). Deep EEG: Deep learning in biomedical signal processing with EEG applications. *Içinde Biomedical Signal Processing and Artificial Intelligence in Healthcare* (ss. 113-151). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818946-7.00005-6>
- Tezza, D., Garcia, S., Hossain, T., & Andujar, M. (2019). Brain eRacing: An Exploratory Study on Virtual Brain-Controlled Drones. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 11575 LNCS, 150-162. https://doi.org/10.1007/978-3-030-21565-1_10
- Thakur, S., Thakur, S., Rana, A., Kumar, P., Kumar, K., & Chen, C.-M. (2025). Exploring the Evolution of Feature Extraction Methods in Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Systematic Review of Research Progress and Future Trends. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 15(3). <https://doi.org/10.1002/widm.70040>

- Torok, L., Pelegrino, M., Lessa, J., Trevisan, D. G., Vasconcelos, C. N., Clua, E., & Montenegro, A. (2015). Evaluating and customizing user interaction in an adaptive game controller. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 9188, 315-326. https://doi.org/10.1007/978-3-319-20889-3_30
- Torok, L., Pelegrino, M., Trevisan, D. G., Clua, E., & Montenegro, A. (2015). A mobile game controller adapted to the gameplay and user's behavior using machine learning. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 9353, 3-16. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24589-8_1
- Trisolini, D. C., Petilli, M. A., & Daini, R. (2018). Is action video gaming related to sustained attention of adolescents? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 71(5), 1033-1039. <https://doi.org/10.1080/17470218.2017.1310912>
- Uludağlı, M. Ç., & Acartürk, C. (2018). User interaction in hands-free gaming: A comparative study of gaze-voice and touchscreen interface control. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 26(4), 1967-1976. <https://doi.org/10.3906/elk-1710-128>
- Van De Laar, B., Gürkök, H., Plass-Oude Bos, D., Poel, M., & Nijholt, A. (2013). Experiencing BCI control in a popular computer game. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, 5(2), 176-184. <https://doi.org/10.1109/TCIAIG.2013.2253778>
- van der Kuil, M. N. A., Visser-Meily, J. M. A., Evers, A. W., & van der Ham, I. J. (2018). A usability study of a serious game in cognitive rehabilitation: A compensatory navigation training in acquired brain injury patients. *Frontiers in Psychology*, 9(JUN). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00846>
- Vasiljevic, G. A. M., & de Miranda, L. C. (2019). The influence of graphical elements on user's attention and control on a neurofeedback-based game. *Entertainment Computing*, 29, 10-19. <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2018.10.003>
- Vasiljevic, G. A. M., de Miranda, L. C., & de Menezes, B. C. (2018). Mental war: An attention-based single/multiplayer brain-computer interface game. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 10960 LNCS, 450-465. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95162-1_31
- Vega-Escobar, L., Castro-Ospina, A. E., & Duque-Munoz, L. (2015). Feature extraction schemes for BCI systems. *2015 20th Symposium on Signal Processing, Images and Computer Vision, STSIVA 2015 - Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/STSIVA.2015.7330455>
- Vourvopoulos, A., Bermudez i Badia, S., & Liarokapis, F. (2017). EEG correlates of video game experience and user profile in motor-imagery-based brain-computer interaction. *Visual Computer*, 33(4), 533-546. <https://doi.org/10.1007/s00371-016-1304-2>
- Vourvopoulos, A., Liarokapis, F., & Chen, M.-C. (2015). The Effect of Prior Gaming Experience in Motor Imagery Training for Brain-Computer Interfaces: A Pilot Study. *VS-Games 2015 - 7th International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications*. <https://doi.org/10.1109/VS-GAMES.2015.7295789>
- Wang, Z., Yu, Y., Xu, M., Liu, Y., Yin, E., & Zhou, Z. (2019). Towards a Hybrid BCI Gaming Paradigm Based on Motor Imagery and SSVEP. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 35(3), 197-205. <https://doi.org/10.1080/10447318.2018.1445068>
- White, M., Gain, J., Vimont, U., & Lochner, D. (2019). The case for haptic props: Shape, weight and vibro-tactile feedback. *Proceedings - MIG 2019: ACM Conference on Motion, Interaction, and Games*. <https://doi.org/10.1145/3359566.3360058>
- Wozniak, M. P., Sikorski, P., Wróbel-Lachowska, M., Bartłomiejczyk, N., Dominiak, J., Grudzien, K., & Romanowski, A. (2021). Enhancing In-game Immersion Using BCI-controlled Mechanics. *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST*. <https://doi.org/10.1145/3489849.3489862>

- Wu, G., Xie, Z., & Wang, X. (2014). Development of a mind-controlled Android racing game using a brain computer interface (BCI). *ICIST 2014 - Proceedings of 2014 4th IEEE International Conference on Information Science and Technology*, 652-655. <https://doi.org/10.1109/ICIST.2014.6920562>
- Yadav, H., & Maini, S. (2025). Decoding brain signals: A comprehensive review of EEG-Based BCI paradigms, signal processing and applications. *Computers in Biology and Medicine*, 196. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2025.110937>
- Yoon, H., Park, S.-W., Lee, Y.-K., & Jang, J.-H. (2013). Emotion recognition of serious game players using a simple brain computer interface. *International Conference on ICT Convergence*, 783-786. <https://doi.org/10.1109/ICTC.2013.6675478>
- Young, G. W., Kehoe, A., & Murphy, D. (2017). Usability testing of video game controllers: A case study. *Çinde Games User Research: A Case Study Approach* (ss. 145-188). <https://doi.org/10.1201/b21564>
- Zhang, F., Zheng, J., & Wang, T. (2024). Multiplayer Collaborative Game Using Cloud Computing Based Brain-Computer Interface. *Proceedings - 2024 2nd International Conference on Information Network and Computer Communications, INCC 2024*, 11-15. <https://doi.org/10.1109/INCC64392.2024.00011>