

Yapay Zeka Destekli Egzersiz Programlarının Geriatrik Osteoartritte Kullanımı: Yeni Ufuklar

Artificial Intelligence -Assisted Exercise Programs in Geriatric Osteoarthritis: New Horizons

Hatice Sena ÇINARLI¹ 

¹Kocaeli Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Kocaeli, Türkiye.

Derleme Makale Review Article

Geliş tarihi/Received:
5.12.2025

Son revizyon teslimi/Last
revision received:
30.12.2025

Kabul tarihi/Accepted:
30.12.2025

Yayın tarihi/Published:
30.04.2026

Atf/Citation:

Çınarlı, H.S. (2026). Yapay Zeka Destekli Egzersiz Programlarının Geriatrik Osteoartritte Kullanımı: Yeni Ufuklar. *Journal of Kocaeli Health and Technology University*, 4(1), 128-143.

DOI: 10.66163/jokohtu.1836454

ÖZET

Osteoartrit, yaşlı bireylerde en sık görülen dejeneratif eklem hastalıklarından biridir ve ağrı, hareket kısıtlılığı ile yaşam kalitesinde azalmaya yol açar. Egzersiz tedavisi, osteoartrit yönetiminde birinci basamak yaklaşım olarak önerilmekte; ancak geleneksel programlara katılım ve uzun dönemli uyum yaşlı bireylerde çoğunlukla yetersiz kalmaktadır. Sağlık teknolojilerindeki son gelişmeler, yapay zekânın fizyoterapi ve rehabilitasyon süreçlerine entegrasyonunu mümkün kılmıştır. Yapay zekâ destekli egzersiz programları; giyilebilir sensörler, mobil uygulamalar, makine öğrenmesi algoritmaları ve sanal gerçeklik tabanlı platformlar aracılığıyla kişiselleştirilmiş egzersiz reçeteleri oluşturabilmekte, gerçek zamanlı geri bildirim ve ilerleme takibi sağlayabilmektedir. Bu derlemenin amacı, geriatrik osteoartrit yönetiminde yapay zekâ destekli egzersiz programlarının klinik etkilerini incelemektir. 2020-2025 yılları arasında yayımlanan çalışmalar, Google Akademik, Science Direct, PubMed ve Scopus veri tabanlarında belirlenen anahtar kelimeler kullanılarak taranmıştır. Dahil edilme kriterlerini karşılayan dokuz çalışma; popülasyon özellikleri, kullanılan yapay zekâ teknolojisi, egzersiz protokolleri, müdahale süresi ve bildirilen klinik sonuçlar açısından analiz edilmiştir. Bulgular, yapay zekâ destekli yaklaşımların ağrı, fonksiyonel kapasite, egzersiz uyumu ve motivasyon üzerinde olumlu etkiler sunduğunu; ayrıca denge ve yaşam kalitesinde iyileşme sağladığını göstermektedir. Ancak çalışmaların çoğu kısa süreli ve küçük örneklemliler olup, uzun dönem etkinlik henüz net olarak ortaya konmamıştır. Bu nedenle, söz konusu müdahalelerin klinik geçerliliğini ve sürdürülebilirliğini değerlendirmek üzere daha geniş örneklemliler, çok merkezli araştırmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Egzersiz, Geriatrik Rehabilitasyon, Giyilebilir Sensörler, Sanal Gerçeklik, Tele-Rehabilitasyon, Yapay Zekâ

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Hatice Sena ÇINARLI, Kocaeli Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Kocaeli, Türkiye.
e-posta / e-mail: haticesena.cinarli@kocaelisaglik.edu.tr

ABSTRACT

Osteoarthritis is one of the most common degenerative joint diseases in older adults, leading to pain, movement limitation, and reduced quality of life. Exercise therapy is recommended as the first-line approach in osteoarthritis management; however, adherence to traditional programs is often low among older individuals. Recent advances in health technologies have enabled the integration of artificial intelligence into physiotherapy and rehabilitation. Artificial intelligence-assisted exercise programs, through wearable sensors, mobile applications, machine learning algorithms, and virtual reality-based platforms, can generate personalized exercise prescriptions and provide real-time feedback and progress monitoring. This review aimed to investigate the clinical effects of artificial intelligence -assisted exercise programs in the management of geriatric osteoarthritis. Studies published between 2020 and 2025 were screened in Google Scholar, Science Direct, PubMed, and Scopus databases using predefined keywords. Nine studies meeting the inclusion criteria were analyzed in terms of population characteristics, type of artificial intelligence technology used, exercise protocols, intervention duration, and reported clinical outcomes. Findings indicate that artificial intelligence -assisted approaches offer beneficial effects on pain, functional capacity, exercise adherence, and motivation, as well as improvements in balance and quality of life. However, most studies were short-term and involved small sample sizes; therefore, the long-term effectiveness of these interventions remains unclear. Larger-scale, multicenter studies are needed to determine the clinical validity and sustainability of artificial intelligence -assisted exercise programs in geriatric osteoarthritis rehabilitation.

Keywords: Artificial intelligence, exercise, geriatrics, tele-rehabilitation, virtual reality, wearable sensors

1. GİRİŞ

Osteoartrit, yaşlı bireylerde en sık görülen dejeneratif eklem hastalıklarından biri olup özellikle diz ve kalça eklemlerini etkileyerek hareket kısıtlılığına, ağrıya ve yaşam kalitesinde belirgin düşüşe neden olmaktadır (1). Dünya genelinde 60 yaş üzeri bireylerde osteoartrit prevalansı %10-15 olarak bildirilmektedir ve bu oran yaşla birlikte artış göstermektedir (2). Osteoartrit yalnızca eklem yapısını değil aynı zamanda günlük yaşam aktivitelerini, bağımsız hareket kabiliyetini ve psikososyal sağlığı da olumsuz etkileyerek bireylerde düşme riski ve bakım ihtiyacını arttırdığı belirtilmiştir (3). Osteoartrit yönetiminde farmakolojik tedaviler (analjezikler, non-steroid antiinflamatuvar ilaçlar) ve ileri olgularda cerrahi yöntemler

uygulanmakla birlikte, egzersiz tedavisi günümüzde ilk basamak tedavi olarak önerilmektedir (4). Direnç, aerobik, denge ve esneklik egzersizleri; ağrının azaltılması, eklem hareket açıklığının korunması, kas kuvvetinin artırılması ve fonksiyonel kapasitenin iyileştirilmesinde etkili bulunmuştur. Geriatrik popülasyonda osteoartrit, yalnızca eklem dejenerasyonu ile sınırlı olmayıp fonksiyonel bağımsızlık kaybı, düşme riskinde artış, çoklu komorbiditeler ve rehabilitasyona uyum güçlükleri ile karakterize kompleks bir klinik tablo oluşturmaktadır. Bu çok boyutlu yapı, yaşlı bireylerde egzersiz temelli müdahalelerin bireyselleştirilmesini ve sürdürülebilirliğinin sağlanmasını klinik açıdan kritik hâle getirmektedir (5).

Son yıllarda sağlık teknolojilerindeki gelişmeler, yapay zekâ uygulamalarının fizyoterapi ve rehabilitasyon alanına entegrasyonunu mümkün kılmıştır (6). Son on yılda dijital sağlık teknolojilerinde yaşanan hızlı gelişim, özellikle COVID-19 pandemisi sonrasında sağlık hizmetlerinde dijital dönüşüm sürecini hızlandırmıştır. Dünya Sağlık Örgütü'nün vurgulandığı üzere, dijital sağlık çözümleri artık erişilebilir, sürdürülebilir ve kaliteli sağlık hizmetlerinin temel bir bileşeni olarak görülmektedir. Yapay zekâ tabanlı sistemler, makine öğrenmesi algoritmaları, giyilebilir sensörler, mobil uygulamalar ve sanal gerçeklik platformları aracılığıyla bireylerin klinik ve biyomekanik verilerini analiz edebilmekte ve bu verilere dayanarak kişiselleştirilmiş egzersiz reçeteleri oluşturabilmektedir. Ayrıca gerçek zamanlı izleme ve uyum takibi sağlayarak tedavi sürecinin hem etkinliğini hem de hasta motivasyonunu artırma potansiyeline sahiptir (7). Bu kapsamda, 2020–2025 yılları arasında yayımlanan çalışmaların incelendiği bu derleme, dijital sağlık uygulamalarının hızlı evrimini yansıtan güncel bir döneme odaklanarak literatüre önemli bir katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

1.2. Osteoartritte Egzersizin Rolü

Egzersiz tedavisi, osteoartrit yönetiminde farmakolojik ve cerrahi olmayan en etkili yaklaşımlardan biri olarak kabul edilmektedir. Amerikan Romatoloji Koleji ve Avrupa Romatizma Birliği'nin klinik kılavuzları, osteoartritle bireylerde egzersizi ilk basamak tedavi olarak önermektedir (8). Özellikle osteoartrit tanılı yaşlı bireylerde egzersiz, yalnızca eklem sağlığını değil aynı zamanda genel fonksiyonel kapasiteyi ve yaşam kalitesini de olumlu yönde etkilemektedir. Osteoartritle bireylerde ağrı, en sık karşılaşılan semptomlardan biri olup günlük yaşam aktivitelerinde belirgin kısıtlılıklara yol açtığı ifade edilmektedir (9). Düzenli olarak uygulanan aerobik ve direnç egzersizlerinin, eklem çevresindeki kasları güçlendirerek eklem binen yükü azalttığı ve bu sayede ağrı şiddetinde anlamlı bir azalma sağladığı gösterilmiştir (10). Ayrıca egzersizlerin eklem hareket açıklığını artırarak sertliği azalttığı ve fonksiyonel kapasiteyi iyileştirdiği ortaya konmuştur. Bu olumlu etkiler, günlük yaşam aktivitelerine katılımı kolaylaştırmakta ve bireylerin bağımsızlığını desteklemektedir (11).

Osteoartritin, kas zayıflığı ve propriosepsiyon kaybına bağlı olarak düşme riskini artırdığı bilinmektedir. Direnç egzersizlerinin özellikle quadriceps ve kalça kaslarını hedef alarak alt ekstremitte kas gücünü geliştirdiği; denge ve proprioseptif egzersizlerin ise postüral kontrol üzerinde olumlu etkiler sağladığı belirtilmiştir (12,13). Nitekim meta-analiz bulguları, düzenli egzersiz programlarının yaşlı osteoartrit hastalarında düşme oranlarını %20-30 oranında azalttığını göstermektedir (14). Osteoartrit semptomlarının kontrol altına alınmasının yalnızca fiziksel iyileşme ile sınırlı kalmadığı, aynı zamanda psikososyal faydalar da sunduğu vurgulanmıştır. Depresyon ve anksiyete semptomlarındaki azalmanın yaşam kalitesini anlamlı şekilde artırdığı ifade edilmektedir (15). Özellikle grup egzersizleri veya ev tabanlı programların, sosyal etkileşimi ve hasta motivasyonunu destekleyerek tedavinin sürdürülebilirliğine katkı sağladığı belirtilmektedir (16). Güncel kılavuzlar, tek bir egzersiz tipine odaklanmak yerine direnç, aerobik ve denge egzersizlerini bir arada içeren multimodal programları önermektedir. Bu kombine yaklaşımların osteoartrit semptomlarını azaltmada ve fonksiyonel kazanımları artırmada tek bileşenli egzersizlerden daha etkili olduğu rapor edilmiştir (5). Ayrıca kişiselleştirilmiş egzersiz reçetelerinin, yaşlı bireylerde komorbiditeler ve fiziksel kapasite farklılıkları göz önünde bulundurularak daha güvenli ve sürdürülebilir bir tedavi sunduğu ileri sürülmektedir (17).

1.3. Tele-Rehabilitasyon Yaklaşımları

Mobil sağlık uygulamaları ve tele-rehabilitasyon sistemleri, osteoartrit yönetiminde ev temelli egzersizlerin sürdürülebilirliğini artıran ve hasta-sağlık profesyoneli arasındaki iletişimi güçlendiren önemli dijital sağlık bileşenleri olarak öne çıkmaktadır (18). Bu sistemler sayesinde hastalara günlük egzersiz hatırlatmaları gönderilebilmekte, uygulanan egzersizlerin sıklığı, süresi ve kalitesi kaydedilerek klinisyenler tarafından uzaktan izlenebilmekte ve gerektiğinde tedavi planları anlık olarak güncellenebilmektedir. Bu özellikler, özellikle sağlık hizmetlerine erişimin kısıtlı olduğu kırsal bölgelerde yaşayan veya mobilite kısıtlılığı bulunan yaşlı bireylerde tedaviye katılımı kolaylaştırmakta ve maliyet etkin bir alternatif sunmaktadır (19).

1.4. Mobil Uygulamalar

Literatürde, mobil uygulama destekli egzersiz takibinin tedaviye uyum ve klinik sonuçlar üzerinde olumlu etkileri olduğuna dair artan sayıda çalışma mevcuttur. Yamamoto ve ark. (20), diz osteoartritli bireylerde mobil uygulama üzerinden yürütülen 12 haftalık bir egzersiz programının, yalnızca eğitim broşürü verilen kontrol grubuna kıyasla anlamlı düzeyde daha

yüksek egzersiz uyumu ve fonksiyonel iyileşme sağladığını bildirmiştir. Benzer şekilde Tedeschi ve ark. (21), mobil sağlık uygulamalarının ağrı şiddetinde azalma, fiziksel performansta artış ve hasta memnuniyetinde iyileşme ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Kullanıcı dostu arayüzleri sayesinde yaşlı bireyler tarafından da rahatlıkla kullanılabilen bu sistemlerin, öz-yeterlilik algısını destekleyerek hastaların kendi sağlık yönetiminde daha aktif rol almasını teşvik ettiği ifade edilmektedir. Tele-rehabilitasyon sistemlerinin bir diğer önemli katkısı ise egzersiz verilerinin gerçek zamanlı izlenmesini mümkün kılarak, klinisyenlerin tedavi planlarını bireysel ihtiyaçlara göre dinamik biçimde uyarlayabilmelerine olanak tanınmasıdır. Bu esneklik, geleneksel yüz yüze fizyoterapi seanslarına kıyasla daha kişiselleştirilmiş bir rehabilitasyon süreci sunmaktadır (22). Ancak, bazı çalışmalarda internet erişimi, dijital okuryazarlık düzeyi ve teknolojik cihaz kullanım becerilerinin sınırlı olması gibi faktörlerin, bu sistemlerin etkinliğini düşürebileceği vurgulanmıştır (23). Bu nedenle, yaşlı bireylerin dijital sağlık teknolojilerine adaptasyonunu kolaylaştıracak kullanıcı eğitimlerinin ve teknik destek altyapılarının geliştirilmesi önerilmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, mobil uygulamalar ve tele-rehabilitasyon sistemleri osteoartrit tedavisinde erişilebilirliği artıran, bireyselleştirilmiş egzersiz programlarını destekleyen ve hastaların uzun dönemli uyumunu güçlendiren yenilikçi araçlar olarak öne çıkmaktadır. Bu teknolojilerin yapay zekâ temelli analiz sistemleri ve giyilebilir sensörlerle entegre edilmesi, gelecekte daha hassas ve veri odaklı rehabilitasyon yaklaşımlarının geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

1.5. Giyilebilir Sensörler

Güncel literatür, giyilebilir sensör teknolojilerinin geriatrik osteoartrit yönetiminde hem egzersiz takibi hem de klinik değerlendirme açısından önemli fırsatlar sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu sensörler, eklem hareket açıklığı, adım sayısı, yük dağılımı ve eklem açıları gibi biyomekanik parametreleri gerçek zamanlı olarak izleyebilmekte; böylece hastaların egzersiz sırasında doğru hareket paternlerini sürdürmesine ve hatalı formlarının anında düzeltilmesine imkân tanımaktadır (7). Chen ve ark. (24) tarafından geliştirilen çok noktalı sensör sistemi hem egzersiz türünü hem de egzersiz formunun doğruluğunu yüksek hassasiyetle sınıflandırarak, ev tabanlı rehabilitasyon programlarının güvenilir biçimde izlenebileceğini göstermiştir. Bu sistemin sağladığı anlık geri bildirim, hastaların egzersize uyumunu artırmakta ve klinisyenlerin uzaktan takip ederek gerektiğinde programı uyarlamasına olanak tanımaktadır. Öte yandan, Cudejko ve ark. (25) tarafından yapılan sistematik derleme, giyilebilir cihazların gerçek yaşam koşullarında osteoartritli bireylerde giderek daha fazla

kullanıldığını, ancak kullanılan cihazların çoğunda veri işleme yöntemleri ve geçerlilik bilgileri konusunda önemli eksiklikler bulunduğunu ortaya koymuştur. Bu durum, cihazların klinik entegrasyonunda karşılaşılan temel sınırlılıklardan biridir. Benzer şekilde, Khan ve ark. (26) çalışması, mevcut ağrı değerlendirme yöntemlerinin subjektif yapısına dikkat çekmekte ve giyilebilir sensörlerin makine öğrenmesi modelleriyle entegre edilmesi sayesinde ağrı ve biomekanik parametrelerin objektif biçimde izlenebileceğini vurgulamaktadır. Bu bütünlük yaklaşımın, yalnızca egzersiz takibinde değil aynı zamanda kişiselleştirilmiş rehabilitasyon planlarının oluşturulmasında da kritik bir rol üstlenebileceği öngörülmektedir.

1.6.Yapay Zekâ Destekli Egzersiz Modaliteleri

Yapay zekâ tabanlı egzersiz uygulamaları, osteoartrit yönetiminde son yıllarda giderek daha fazla ilgi görmeye başlamıştır. Dünya Sağlık Örgütü, 2021’de yayımladığı Global Strategy on Digital Health 2020-2025 raporunda dijital sağlık uygulamalarını erişilebilir, sürdürülebilir ve kaliteli sağlık hizmetlerinin temel bileşeni olarak tanımlamıştır (27) Pandemi sonrası dönemde, dijital sağlık teknolojilerinin fizyoterapi ve rehabilitasyon dâhil olmak üzere sağlık hizmetlerinde hızla yaygınlaştığı ve telerehabilitasyonun küresel ölçekte yeni bir standart hâline geldiği vurgulanmıştır (28).

Bu teknolojiler, sensörler, mobil uygulamalar, makine öğrenmesi algoritmaları ve sanal gerçeklik tabanlı sistemler aracılığıyla egzersizleri kişiselleştirme, gerçek zamanlı takip etme ve hasta uyumunu artırma potansiyeline sahiptir (24, 29, 30). Geleneksel egzersiz programlarının sınırlılıklarını aşmak amacıyla geliştirilen bu modaliteler, özellikle yaşlı bireylerde bireysel farklılıkların dikkate alınmasını mümkün kılmakta ve ev tabanlı rehabilitasyonun etkinliğini artırmaktadır (31). Ayrıca bu sistemlerin, egzersiz sırasında oluşabilecek hatalı hareketleri tespit ederek anlık geri bildirim sağladığı ve böylece egzersiz kalitesini artırdığı rapor edilmiştir (32). Bunun yanı sıra, yapay zeka destekli uygulamaların klinisyenlere hastanın ilerleme verilerini sunarak tedavi planlarının dinamik biçimde güncellenmesine olanak tanıdığı belirtilmektedir. Bu sayede hem hasta hem de sağlık profesyoneli için daha bütüncül ve takip edilebilir bir rehabilitasyon süreci oluşturulabileceği ifade edilmektedir (33).

1.7. Makine Öğrenmesi Tabanlı Kişiselleştirme

Makine öğrenmesi algoritmaları, osteoartritli bireylerin klinik, fonksiyonel ve biyomekanik verilerini analiz ederek egzersiz programlarının bireysel özelliklere göre optimize edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu sistemler; yaş, eklem dejenerasyon derecesi, kas kuvveti, ağrı şiddeti,

fiziksel aktivite düzeyi ve eşlik eden hastalıklar gibi değişkenleri değerlendirerek kişiselleştirilmiş egzersiz reçeteleri oluşturmakta ve tedavi sürecinde güncel performans verilerine göre bu reçeteleri dinamik biçimde güncelleyebilmektedir (34,35). Özellikle ev temelli rehabilitasyon uygulamalarında makine öğrenme algoritmaları ile standardizasyon sorununun ortadan kaldırarak bireysel ihtiyaçlara yanıt veren bir müdahale biçimi sunmak osteoartrit hastalarında optimal iyileşmeyi arttırdığı belirtilmektedir (36).

Son yıllarda yapılan çalışmalar, makine öğrenmesi tabanlı sistemlerin klinik etkinliğini ortaya koymaktadır. Bu yaklaşımlar yalnızca egzersiz planlaması değil, aynı zamanda egzersiz deneyiminin yaşlı bireyler için daha erişilebilir ve motive edici hale getirilmesini de mümkün kılmaktadır. Nitekim Chen ve Or (29) tarafından yapılan çalışmada, makine öğrenmesine dayalı bir alt ekstremitte egzersiz sistemine katılan yaşlı osteoartritli bireylerin, sistemin kişiselleştirme kapasitesini, anlık geri bildirim özelliklerini ve güvenli kullanım düzeyini yüksek oranda kabul ettiği bildirilmiştir. Katılımcıların çoğu, sistemin motivasyonlarını artırdığını ve ev temelli rehabilitasyona katılımı kolaylaştırdığını ifade etmiştir. Bu bulgu, makine öğrenmesi tabanlı uygulamaların sadece klinik çıktılara değil, aynı zamanda hasta memnuniyetine de katkı sunduğunu göstermektedir. Benzer şekilde Dennis ve ark. (37), diz osteoartritinde uygulanan egzersiz temelli müdahalelerin etkisinde görülen bireyler arası değişkenliği (tedavi etkisi heterojenliği) incelemiştir. Çalışma, yaş, cinsiyet, fonksiyonel durum ve başlangıçtaki semptom şiddeti gibi bireysel faktörlerin egzersiz tedavisine verilen yanıt üzerinde belirgin etkiler yarattığını göstermektedir. Araştırmacılar, bu farklılıkların sistematik biçimde analiz edilmesiyle kişiselleştirilmiş egzersiz planlarının daha etkili biçimde geliştirilebileceğini savunmuştur. Bu bulgular, makine öğrenmesi tabanlı kişiselleştirilmiş egzersiz programlarının hem klinik sonuçları hem de hasta uyumunu artırma potansiyelini vurgulamaktadır. İleriye dönük olarak, bu sistemlerin klinik karar destek araçlarına entegre edilerek fizyoterapi uygulamalarında standartlaştırılmış fakat kişiye özel müdahaleleri mümkün kılması beklenmektedir.

1.8. Sanal Gerçeklik ve Oyunlaştırma

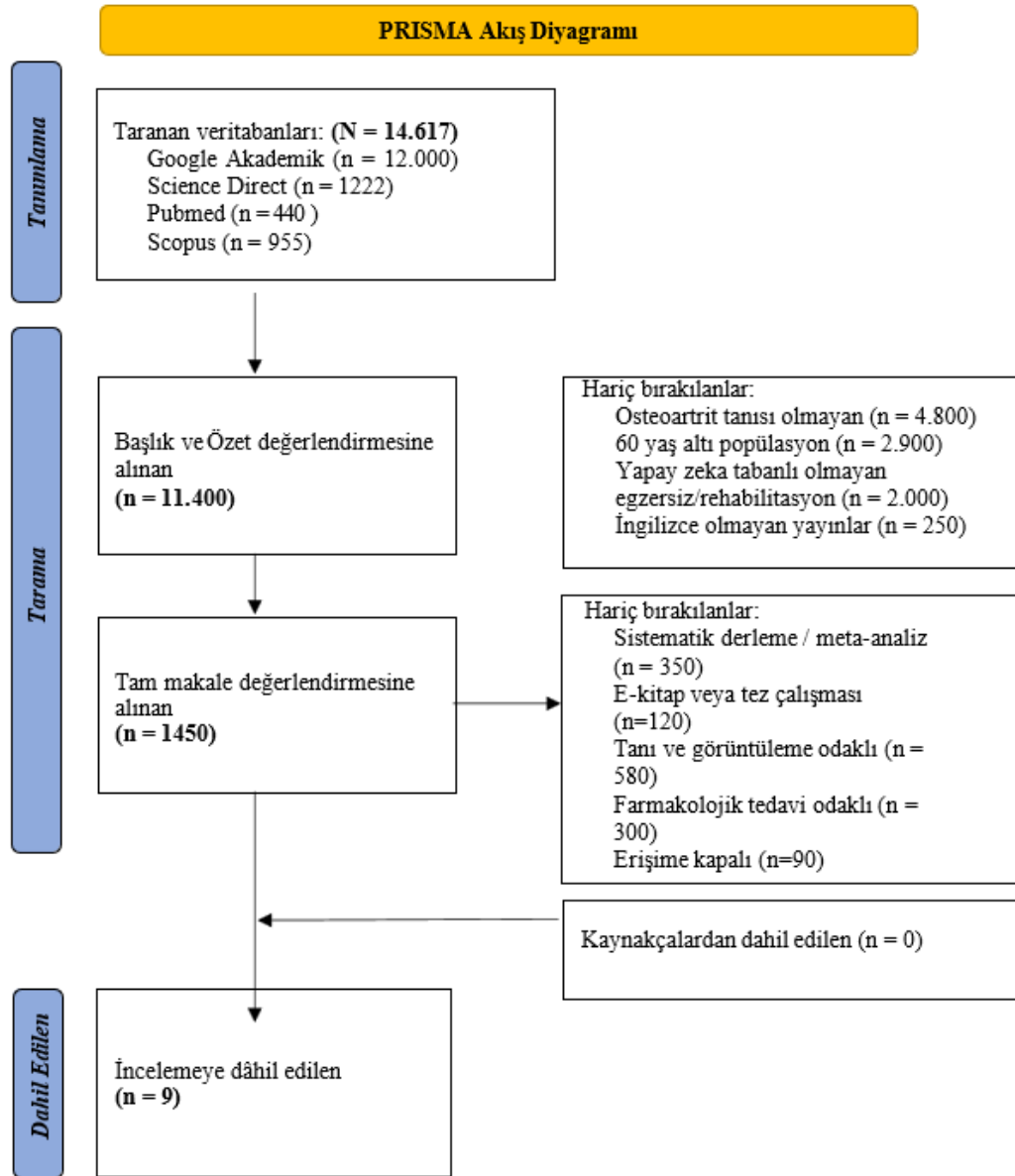
Sanal gerçeklik ve oyunlaştırma temelli yaklaşımlar, osteoartrit rehabilitasyonunda giderek artan bir ilgiyle kullanılmakta olup, egzersiz süreçlerine hem motivasyonel hem de fonksiyonel katkılar sunmaktadır. Sanal gerçeklik sistemleri, görsel-işitsel geri bildirimler aracılığıyla hastaların egzersizlere aktif katılımını teşvik ederken, motor öğrenme ve nöroplastisiteyi destekleyici bir ortam sunmaktadır (30). Wei ve ark. (38) tarafından yürütülen sistematik derleme ve meta-analizde, sanal gerçeklik tabanlı egzersiz uygulamalarının diz osteoartriti olan

bireylerde ağrı yönetimi, fonksiyonel kapasite ve denge üzerinde anlamlı iyileşmeler sağladığı ortaya konmuştur Aynı şekilde Özlü ve ark. (39), sanal gerçeklik destekli oyunlaştırılmış bir rehabilitasyon programının diz osteoartritli bireylerde ağrı, denge ve fonksiyonel kapasite üzerinde klasik yaklaşımlara kıyasla daha olumlu sonuçlar doğurduğunu göstermiştir. Bu çalışmalar, sanal gerçekliğin yalnızca fiziksel çıktılarla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda kullanıcı deneyimini zenginleştirerek uzun vadeli katılımı desteklediğini vurgulamaktadır. Oliveira ve ark. (40) tarafından yapılan randomize kontrollü bir çalışmada, sanal gerçeklik destekli denge egzersizlerinin yaşlı osteoartrit hastalarında denge puanlarını anlamlı düzeyde artırdığı ve düşme riskini azalttığı rapor edilmiştir. Benzer şekilde Sarkar ve ark. (41), sanal gerçeklik temelli müdahalelerin yaşlı bireylerde yalnızca motor fonksiyonları değil, aynı zamanda ağrı algısı ve egzersiz öz-yeterliliği üzerinde de pozitif etkiler sağladığını belirtmiştir. Ayrıca, sanal gerçeklik uygulamalarının oyunlaştırma unsurları ile entegre edilmesi, tedaviye eğlenceli ve motive edici bir boyut katmakta, bu da özellikle yaşlı bireylerde psikososyal faydaları artırarak tedaviye uyumu güçlendirmektedir. Byra ve ark. (42), sanal gerçeklik temelli egzersiz programlarının kullanıcı dostu arayüzleri ve etkileşimli doğaları sayesinde yaşlı hastalarda yüksek kabul gördüğünü ve hasta memnuniyetini artırdığını rapor etmiştir. Genel olarak, sanal gerçeklik ve oyunlaştırma tabanlı uygulamaların osteoartrit rehabilitasyonundaki kullanımı, sadece klinik sonuçları değil, aynı zamanda hastaların sürece bağlılığını ve motivasyonunu da artırmakta; bu da uzun vadeli fonksiyonel kazanımların sürdürülebilirliğini sağlamaktadır.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, geriatrik osteoartritli bireylerde yapay zekâ destekli egzersiz programlarının kullanımını inceleyen güncel bir literatür derleme çalışmasıdır. Çalışmaların seçimi ve veri çıkarımı süreci sorumlu araştırmacı tarafından yürütülmüştür. 2020–2025 yılları arasında yayımlanmış, İngilizce dilinde yazılmış ve tam metnine erişim sağlanabilen özgün araştırma makaleleriyle sınırlandırılmıştır. Literatür taraması Google Akademik (n =12.000), Science Direct (n =1222), Pubmed (n = 440), Scopus (n = 955) veri tabanlarında gerçekleştirilmiştir. Tarama sürecinde konuyu en iyi şekilde kapsayacak ve özgül sonuçlar sağlayacak anahtar kelimeler belirlenmiş ve şu şekilde kullanılmıştır: “osteoarthritis” OR “elderly” OR “geriatric” OR “veteran” OR “aging” AND “artificial intelligence” OR “machine learning” OR “mobile health” OR “wearable sensors” OR “virtual reality” OR “tele-rehabilitation” OR “digital health” OR “app” AND “rehabilitation” OR “exercise”. Arama stratejisinde ayrıca cerrahi, postoperatif süreçler, tanı ve görüntüleme odaklı çalışmalar ile derleme makalelerini hariç tutmak amacıyla “-/not postoperative”, “-/not arthroplasty”, “-/not surgical”, “-/not diagnosis”,

“-/not imaging” ve “-/not review” dışlama terimleri uygulanmıştır. Çalışmaya dahil edilme ölçütleri, 60 yaş ve üzeri bireylerde osteoartrit tanısının bulunması, yapay zekâ tabanlı egzersiz veya rehabilitasyon uygulamalarının kullanılması ve klinik ya da fonksiyonel sonuçların raporlanmış olması olarak belirlenmiştir. Buna karşılık, sistematik derleme ve meta-analiz çalışmaları, e-kitap, tez çalışmaları, tanı ve görüntüleme amaçlı çalışmalar, farmakolojik tedaviye odaklanan araştırmalar, hayvan çalışmaları ve yapay zeka tabanlı olmayan klasik egzersiz programlarını inceleyen yayınlar çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Tüm bu filtreleme adımlarının ardından, tanımlanan kriterlere uyan toplam dokuz çalışma derleme kapsamına alınmıştır. Literatür seçim süreci, Şekil 1’de akış şeması biçiminde özetlenmiştir.



Şekil 1. PRISMA Akış Diyagramı.

2.1. Sonuçlar

Elde edilen çalışmaların analizi sırasında; popülasyon özellikleri, kullanılan yapay zeka teknolojisi, uygulanan egzersiz protokolleri, müdahale süresi ve bildirilen klinik sonuçlar ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu veriler tablo (Tablo 1) ve metin biçiminde sunularak tartışma bölümünde literatürle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 1. Geriatrik Osteoartritte Yapay Zekâ Destekli Egzersiz Çalışmaları

Yazar, Yıl	Araştırma Grubu	Metod	Bulgular İstatistiksel Bulgular
Manlapaz ve ark., 2022 (43)	Diz osteoartriti ve düşme öyküsü olan yaşlılar (n=12; yaş*=55.25 ± 10.00)	Nintendo Wii Fit™ tabanlı 8 haftalık exergaming programı (1 süpervizyonlu, 2 evde); haftada 3 gün, 45–60 dk; standart ve seçmeli denge oyunları	KOOS-Activity: 67.6 ± 9.1 → 75.8 ± 10.5 (p=0.033); KOOS-QoL: 45.8 ± 10.0 → 57.4 ± 9.9 (p=0.016); KOOS-Sport: 34.2 ± 15.8 → 48.2 ± 18.4 (p = 0.020); TUG: 7.9 ± 1.4 → 7.2 ± 1.5 (p=0.028); FES-I: 11.8 ± 2.5 → 10.3 ± 2.3 (p = 0.018); advers olay yok; uyum %78
Harihar ve ark., 2025 (44)	Diz osteoartriti yaşlılar (n=30; yaş=62.6 ± 5.2)	CasaMed mobil uygulaması aracılığıyla 6 haftalık ev temelli egzersiz programı; günde 1 seans, 6–10 egzersiz, hafif–orta şiddette	NPRS: 8.00 ± 3.57 → 4.40 ± 1.24 (p < 0.001); WOMAC: 38.3 ± 11.5 → 22.1 ± 10.9 (p = 0.002); diz fleksiyon ROM ve kas gücü anlamlı artış göstermiştir (p < 0.001); egzersiz uyumu %74 olarak raporlanmıştır; uygulama erişilebilir ve kullanıcı dostu bulunmuştur.
Allen ve ark., 2022 (45)	Diz osteoartriti veteranlar (n=345; yaş= 65.3±8.8)	STEP-KOA (web tabanlı eğitim, telefon görüşmeleri, yüz yüze fizyoterapi) vs. aktif egzersiz önerileri; 12 haftalık müdahale; RCT	WOMAC toplam skoru 53.6 ± 18.2 → 44.8 ± 17.1 (p = 0.002); ağrı alt ölçeği 11.5 ± 4.8 → 9.3 ± 4.6 (p = 0.01); fonksiyon alt ölçeği 36.4 ± 13.7 → 30.1 ± 12.8 (p = 0.003); objektif fiziksel performans testlerinde anlamlı fark bulunmadı. STEP-KOA programı WOMAC skorlarında anlamlı iyileşme sağlamış, merdiven çıkmada ağrıyı azaltmıştır.
Gohir ve ark., 2021 (46)	Diz osteoartriti yaşlılar (n=105; yaş=66.7±9.2)	6 haftalık internet tabanlı egzersiz ve eğitim programı (Joint Academy uygulaması) vs. rutin öz-yönetim; günlük dijital takip ve fizyoterapist desteği	NRS ağrı: -1.8 ± 0.5 (d = 0.83, p < 0.001); WOMAC ağrı: -2.2 ± 0.6 (p = 0.02); WOMAC katılık: -0.8 ± 0.4 (p < 0.001); WOMAC fonksiyon: -7.8 ± 2.1 (p = 0.02); 30 sn otur-kalk testi: +4.5 ± 0.9 (p < 0.001); TUG: -1.4 ± 0.9 s (p = 0.007); hamstring 60°/s kas kuvveti: +10.5 ± 4.0 Nm (p = 0.01). Dijital egzersiz uygulaması, ağrı ve fonksiyon parametrelerinde orta–yüksek etki büyüklüğüyle anlamlı gelişme sağlamıştır.
Thiengwittayaporn ve ark., 2023 (47)	Diz OA'lı yaşlılar (n=82; yaş= 62.6±8.2)	“Rak Kao” mobil uygulaması (AI tabanlı kişiselleştirilmiş egzersiz önerisi) vs. basılı egzersiz kılavuzu; 4 haftalık program; RCT	KOOS–Yaşam kalitesi: 69.5 ± 6.2 → 79.6 ± 10.7 (p < 0.001); Spor/rekreasyon: 70.5 ± 5.2 → 80.9 ± 9.0 (p < 0.001); Günlük yaşam: 71.6 ± 9.0 → 80.4 ± 9.8 (p = 0.002); KSS–Hasta memnuniyeti: 23.0 ± 3.0 → 25.2 ± 0.8 (p = 0.001). Egzersiz doğruluğu M-grubunda %76.2, H-grubunda %52.5 (p = 0.022). Mobil uygulama, egzersiz formunun doğruluğunu ve yaşam kalitesi skorlarını anlamlı biçimde artırmıştır.
Hsu ve ark., 2021 (48)	Diz osteoartriti obez yaşlı bireyler (n=63; yaş= 65.6±3.9)	12 haftalık telemedisine tabanlı direnç egzersizi (elastik bant, 3 gün/hafta) ve diyet kontrollü (1200 kcal/gün) müdahalesi; 3 grup: Diyet (D), Egzersiz (E), Diyet+Egzersiz (D+E); randomize kontrollü	WOMAC toplam: D: -9.24 ± 3.59; E: -7.62 ± 2.64; D+E: -13.05 ± 4.09 (p = 0.004, η² = 0.32). TUG testi: D: -1.33 ± 0.59 s; E: -0.92 ± 0.67 s; D+E: -1.61 ± 0.52 s (p < 0.001). Vücut yağ oranı: D: -1.20 ± 0.81%; E: -1.17 ± 0.75%; D+E: -1.87 ± 0.78% (p = 0.003). Kan lipidleri: Total kolesterol -25.9 ± 23.3 mg/dL, LDL -18.0 ± 19.8 mg/dL, TG -43.3 ± 26.4 mg/dL (tümü p < 0.01). D+E grubu BMI, yağ oranı, WOMAC, TUG ve lipid profillerinde en yüksek iyileşmeyi göstermiştir. Etki büyüklükleri genellikle orta–yüksek düzeydedir (Cohen's d: 0.7–1.7). Müdahale süresince yan etki bildirilmemiştir.

Li ve ark., 2020 (49)	Diz osteoartritli yaşlı bireyler (n=51; yaş=64.9±8.5)	12 haftalık giyilebilir cihaz (Fitbit Flex-2), FitViz mobil uygulaması ve fizyoterapist danışmanlığı içeren çok bileşenli egzersiz programı (8 hafta danışmanlık + 4 hafta bağımsız kullanım); gecikmeli kontrol tasarımı	MVPA süresi: 31.0 ± 37.3 → 37.7 ± 30.5 dk/gün; kontrol grubuna göre +13.1 dk/gün fark (95% CI 1.6–24.5; p = 0.03). Adım sayısı: +1106 ± 2488 adım/gün (p = 0.05). KOOS skorları: küçük fakat klinik açıdan pozitif değişim (pain +2.5, ADL +2.8). Sedanter süre: -29.5 ± 75.8 dk/gün. Uyum oranı: %81. Yan etkiler: 7 kas ağrısı, 3 düşme (ciddi komplikasyon yok). Program, orta düzeyde fiziksel aktiviteyi artırmış, sedanter davranışı azaltmış ve katılımcıların egzersiz alışkanlığı farkındalığını geliştirmiştir.
Zhu ve ark., 2025 (50)	Diz osteoartritli geriatric bireyler (n=60; yaş= 68.8±6.4)	6 haftalık bilgisayarlı görüş (CV) tabanlı egzersiz uygulaması (haftada 3 gün, 30–45 dk) vs. video tabanlı egzersiz eğitimi; randomize kontrollü çalışma	WOMAC fiziksel fonksiyon: 24.17 ± 3.24 → 17.08 ± 2.7 (p < 0.001); WOMAC ağrı: 8.83 ± 1.79 → 7.21 ± 1.58 (p < 0.001, gruplar arası p = 0.96); ASES öz-yeterlilik: 49.79 ± 6.96 → 51.75 ± 6.54 (p = 0.003, gruplar arası p = 0.04); GDS depresyon: 6.33 ± 1.86 → 5.58 ± 1.83 (p = 0.13); Yaşam kalitesi (AQoL): 0.45 ± 0.18 → 0.48 ± 0.19 (p = 0.08). Katılımcıların %75'i müdahaleyi tamamlamış, yüksek kullanıcı memnuniyeti ve etkileşim bildirilmiştir. Fiziksel fonksiyon ve öz-yeterlilikte anlamlı gelişim sağlanmış, ağrı ve yaşam kalitesi değişimleri sınırlı kalmıştır.
You ve ark., 2024 (31)	Sarkopeni + diz osteoartriti olan yaşlı bireyler (≥60 yaş, planlanan n = 278)	ChatGPT-4 + giyilebilir sensör destekli mobil rehabilitasyon (GAISO sistemi) vs. geleneksel yüz yüze egzersiz terapisi; PROBE (randomize açık-uçlu, kör sonlanım) non-inferiority tasarımı	Devam eden çalışma (protokol düzeyi). Üç ay boyunca FITT-VP ilkesine göre kişiselleştirilmiş egzersiz reçeteleri uygulanacak. Birincil çıktılar: WOMAC, KOOS, SF-12, ROM, yürüme paterni, VAS ağrı. İkincil çıktılar: MCID, PASS, SCB, kas kütlesi (BIA), maliyet-etkinlik. Ön teste 30 sanal hastaya üretilen programlar <i>Quality of Exercise Therapy (QET)</i> kriterlerine göre değerlendirildi (ortalama toplam skor 35.8 ± 2.5/40). Programlar yüksek güvenlik, erişilebilirlik ve bireyselleştirme düzeyi göstermiştir. Çalışma, ChatGPT-4 ve sensör destekli ev temelli rehabilitasyonun klinik etkinliği ve maliyet etkinliğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Yaş= Ort± SS; KOOS: Diz İncinme ve Osteoartrit Sonuç Skoru, ZKYT: Zamanlı Kalk ve Yürü Testi; FES-I: Düşme Etkinlik Ölçeği; WOMAC: Western Ontario and McMaster Universities Anketi; EHA: Eklem Hareket Açıklığı; YZ: Yapay Zekâ
*Geriatric popülasyon tanımı için ≥60 yaş kriteri benimsenmiş olup, yaş ortalamalarının farklılık göstermesi çalışmalardaki örneklem dağılımlarına bağlıdır.

3. TARTIŞMA

Bu derlemede incelenen dokuz çalışma, geriatric osteoartrit yönetiminde yapay zekâ ve ilişkili dijital teknolojilerin egzersiz temelli müdahalelere entegrasyonunun giderek artan bir rol üstlendiğini ortaya koymaktadır. Genel olarak bu teknolojiler, kişiselleştirilmiş egzersiz reçeteleri, gerçek zamanlı geri bildirim, hatalı hareketlerin tespiti ve uzaktan erişim gibi avantajlar sunarak geleneksel yüz yüze rehabilitasyon yöntemlerine kıyasla hasta uyumunu ve motivasyonunu artırma potansiyeline sahiptir.

3.1. Egzersiz Uyumu ve Motivasyon

Exergaming tabanlı müdahaleler özellikle motivasyon artırıcı ve eğlenceli yapılarıyla öne çıkmaktadır. Manlapaz ve ark. (43) tarafından uygulanan Nintendo Wii Fit™ tabanlı denge oyunları programı, düşme öyküsü olan diz osteoartritli bireylerde fonksiyonel skorları iyileştirmiş ve yüksek uyum sağlamıştır. Ancak küçük örneklemler ve kontrolsüz tasarım,

sonuçların genellenebilirliğini sınırlandırmaktadır. Buna karşın, mobil tabanlı sanal bakım çözümleri daha geniş erişim imkânı ve kişiselleştirme potansiyeli sunmaktadır. Harihar ve ark. (44), CasaMed uygulamasının kısa vadede ağrıyı azaltıp eklem hareketliliğini artırdığını ve kullanıcı memnuniyetini yükselttiğini bildirmiştir. Her iki yaklaşım da hasta motivasyonunu desteklese de exergaming'in sosyal etkileşim ve oyunlaştırma yoluyla; mobil uygulamaların ise bilgiye hızlı erişim ve kullanım kolaylığıyla öne çıktığı görülmektedir.

3.2. Fonksiyonel Sonuçlar ve Performans Ölçütleri

Daha geniş ölçekli randomize kontrollü çalışmalar, dijital müdahalelerin klinik etkinliğini daha güçlü şekilde ortaya koymaktadır. Allen ve ark. (45), STEP-KOA programında WOMAC toplam, ağrı ve fonksiyon skorlarında anlamlı iyileşmeler elde etmiş; ancak fiziksel performans testlerinde fark bulunmamıştır. Gohir ve ark. (46) ise internet tabanlı egzersiz programında yüksek uyum oranı ve kapsamlı objektif ölçümler rapor etmiş, ancak pandemi koşullarına bağlı takip kayıpları bulguların gücünü sınırlamıştır. Bu iki çalışma birlikte değerlendirildiğinde, dijital egzersiz programlarının öznel klinik sonuçlarda etkili olmasına rağmen objektif performans çıktılarında tutarlı iyileşmeler sağlamanın daha zor olduğu görülmektedir.

3.3. Yaşam Kalitesi ve Hasta Deneyimi

Mobil uygulamaların basılı kılavuzlara göre daha yüksek etki yarattığı da dikkate değerdir. Thiengwittayaporn ve ark. (47), mobil uygulama kullanan grubun yaşam kalitesi ve günlük yaşam aktivitelerinde anlamlı üstünlük gösterdiğini ve egzersizlerin doğru uygulanmasında da daha başarılı olduğunu bildirmiştir. Bu bulgular, dijital ortamın hem görsel-işitsel rehberlik hem de kullanıcı etkileşimi yoluyla öğrenme sürecini güçlendirdiğini düşündürmektedir. Benzer şekilde, Hsu ve ark. (48) tarafından yürütülen diyet ve direnç egzersizi kombinasyonu, fonksiyonel performans ve biyokimyasal parametrelerde iyileşme sağlamış; özellikle multimodal müdahalelerin osteoartrit yönetiminde daha geniş etki alanı sunabileceğini göstermiştir. Yapay zekâ destekli egzersiz programlarının ağrı üzerindeki etkileri, özellikle mobil uygulama ve tele-rehabilitasyon temelli çalışmalarda belirginleşmektedir. Bu yaklaşımların, düzenli egzersiz katılımını artırarak ağrı algısını dolaylı yoldan modüle ettiği ve yaşam kalitesi skorlarını iyileştirdiği bildirilmektedir (47,48).

3.4. Uzun Dönem Etkililik ve Klinik Uygulamaya Aktarım

Fiziksel aktivite danışmanlığı ve giyilebilir teknoloji entegrasyonu, son yıllarda dikkat çeken bir diğer stratejidir. Li ve ark. (49), akut grup lehine günlük orta-şiddetli fiziksel aktivite

süresinde artış gözlemlenmiş; ancak gecikmeli kontrol tasarımı uzun dönem farkların belirlenmesini güçleştirmiştir. Zhu ve ark. (50) ise bilgisayarlı görü tabanlı sistemin kısa vadede fiziksel fonksiyon ve öz-yeterlik düzeyini artırdığını bildirmiştir. İlginç olarak, bu iki çalışmada da teknolojik destek motivasyonel unsurlarla birleştiğinde fiziksel aktivite düzeylerinde olumlu değişim yaratılmış; ancak ağrı ve psikososyal çıktılarda anlamlı farklılık sağlamak daha zor olmuştur. Henüz klinik verileri yayımlanmamış olsa da, You ve ark. (31) tarafından sunulan GAISO protokolü, ChatGPT-4 tabanlı yapay zekâ asistanı ile giyilebilir cihaz entegrasyonunun egzersiz reçetelerini hem klinik hem de gerçek zamanlı sensör verilerine göre dinamik olarak uyarlayabileceğini öngörmektedir. Bu yaklaşım, gelecekteki yapay zeka destekli rehabilitasyon uygulamalarının kişiselleştirme kapasitesini önemli ölçüde artırma potansiyeline sahiptir.

3.5. Gelecek Araştırma Yönelimleri ve Klinik Öneriler

Tüm bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, yapay zekâ destekli egzersiz uygulamalarının geriatrik osteoartrit yönetiminde hem öznel klinik skorlar hem de egzersiz uyumu açısından anlamlı faydalar sunduğu görülmektedir. Bununla birlikte, fiziksel performans ve uzun dönem sağlık çıktılarındaki etkilerin tutarlı olarak gösterilebilmesi için daha uzun süreli, çok merkezli ve karşılaştırmalı çalışmalar gerekmektedir. Gelecekte bilgisayarlı görü, makine öğrenmesi, sanal gerçeklik ve doğal dil işleme gibi farklı yapay zekâ modalitelerinin doğrudan karşılaştırıldığı çalışmalar, hangi teknolojinin hangi hasta profiline en uygun olduğunu belirleme açısından kritik önem taşıyacaktır. Ayrıca, giyilebilir sensör verilerinin klinik karar destek sistemlerine entegre edilmesi, kullanıcı dostu arayüzlerin geliştirilmesi ve veri güvenliği ile maliyet-etkinlik değerlendirmelerinin yapılması, bu teknolojilerin sağlık sistemine sürdürülebilir entegrasyonu için temel gerekliliklerdir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu derleme, geriatrik osteoartrit yönetiminde yapay zekâ destekli egzersiz uygulamalarının klinik ve teknolojik potansiyelini ortaya koymaktadır. İncelenen çalışmalar, bilgisayarla görme, giyilebilir sensörler ve yapay zekâ tabanlı karar destek sistemleri gibi dijital teknolojilerin egzersiz formunu iyileştirme, hasta uyumunu artırma ve fonksiyonel sonuçları geliştirme açısından umut verici bulgular sunduğunu göstermektedir. Bu yaklaşımlar, özellikle geleneksel rehabilitasyona erişimi sınırlı olan yaşlı bireylerde, ev temelli, kişiselleştirilmiş ve izlenebilir rehabilitasyon çözümleri sunma potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte, mevcut literatürün büyük bölümü kısa süreli, pilot ölçekli veya protokol düzeyindeki çalışmalardan oluşmaktadır. Bu nedenle, uzun dönemli ve geniş örneklemli randomize kontrollü araştırmalara ihtiyaç vardır.

Yapay zekânın egzersiz reçetelerini dinamik olarak uyarlayabilme kapasitesi, gelecekte geriatrik osteoartrit yönetiminde kişiselleştirilmiş rehabilitasyon protokollerinin geliştirilmesine olanak tanıyabilir.

Klinik uygulama açısından, yapay zekâ destekli egzersiz teknolojilerinin standardizasyonu, kullanıcı dostu arayüzlerle yaşlı bireylerin adaptasyonunun kolaylaştırılması ve sağlık profesyonellerine yönelik dijital yetkinlik eğitimlerinin yaygınlaştırılması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, veri güvenliği, etik onam süreçleri ve maliyet-etkinlik analizleri göz önünde bulundurularak bu teknolojilerin sağlık sistemine entegrasyonu planlanmalıdır. Gelecekte yapılacak araştırmaların, farklı yapay zekâ modalitelerini karşılaştırmalı olarak inceleyen, multimodal egzersiz yaklaşımlarını (ör. aerobik-direnç-denge kombinasyonları) test eden ve gerçek yaşam verileriyle desteklenen uzun dönem takip çalışmalarına odaklanması önerilmektedir. Bu tür çalışmalar, geriatrik osteoartrit rehabilitasyonunda yapay zekâ destekli egzersizlerin klinik geçerliliğini, uygulanabilirliğini ve sürdürülebilirliğini güçlendirecektir.

5. KAYNAKLAR

1. Fan, Z., Yan, L., Liu, H., Li, X., Fan, K., Liu, Q., et al. (2023). The prevalence of hip osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis. *Arthritis Research & Therapy*, 25(1), 51.
2. Allen, K. D., Thoma, L. M., & Golightly, Y. M. (2022). Epidemiology of osteoarthritis. *Osteoarthritis and Cartilage*, 30(2), 184–195.
3. Gray, B., Eyles, J. P., Grace, S., Hunter, D. J., Østerås, N., Quicke, J., et al. (2022). Best evidence osteoarthritis care: What are the recommendations and what is needed to improve practice? *Clinics in Geriatric Medicine*, 38(2), 287–302.
4. Nissen, N., Holm, P. M., Bricca, A., Dideriksen, M., Tang, L. H., & Skou, S. T. (2022). Clinicians' beliefs and attitudes to physical activity and exercise therapy as treatment for knee and/or hip osteoarthritis: A scoping review. *Osteoarthritis and Cartilage*, 30(2), 260–269.
5. Hall, M., Dobson, F., Van Ginckel, A., Nelligan, R. K., Collins, N. J., Smith, M. D., et al. (2021). Comparative effectiveness of exercise programs for psychological well-being in knee osteoarthritis: A systematic review and network meta-analysis. *Seminars in Arthritis and Rheumatism*, 51(5), 1023–1032.

6. Sumner, J., Lim, H. W., Chong, L. S., Bundele, A., Mukhopadhyay, A., & Kayambu, G. (2023). Artificial intelligence in physical rehabilitation: A systematic review. *Artificial Intelligence in Medicine, 146*, 102693.
7. Wei, S., & Wu, Z. (2023). The application of wearable sensors and machine learning algorithms in rehabilitation training: A systematic review. *Sensors, 23*(18), 7667.
8. England, B. R., Smith, B. J., Baker, N. A., Barton, J. L., Oatis, C. A., Guyatt, G., et al. (2023). 2022 American College of Rheumatology guideline for exercise, rehabilitation, diet, and additional integrative interventions for rheumatoid arthritis. *Arthritis & Rheumatology, 75*(8), 1603–1615.
9. Atukorala, I., & Hunter, D. J. (2023). A review of quality-of-life in elderly osteoarthritis. *Expert Review of Pharmacoeconomics & Outcomes Research, 23*(4), 365–381.
10. Focht, B. C. (2006). Effectiveness of exercise interventions in reducing pain symptoms among older adults with knee osteoarthritis: A review. *Journal of Aging and Physical Activity, 14*(2), 212–235.
11. Atukorala, I., & Hunter, D. J. (2023). A review of quality-of-life in elderly osteoarthritis. *Expert Review of Pharmacoeconomics & Outcomes Research, 23*(4), 365–381.
12. Zeng, Z., Shan, J., Zhang, Y., Wang, Y., Li, C., Li, J., et al. (2022). Asymmetries and relationships between muscle strength, proprioception, biomechanics, and postural stability in patients with unilateral knee osteoarthritis. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 10*, 922832.
13. Raposo, F., Ramos, M., & Cruz, A. L. (2021). Effects of exercise on knee osteoarthritis: A systematic review. *Musculoskeletal Care, 19*(4), 399–435.
14. Mo, L., Jiang, B., Mei, T., & Zhou, D. (2023). Exercise therapy for knee osteoarthritis: A systematic review and network meta-analysis. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine, 11*(5), 23259671231172773.
15. Wang, S. T., & Ni, G. X. (2022). Depression in osteoarthritis: Current understanding. *Neuropsychiatric Disease and Treatment, 18*, 375–385.
16. de Jesus Júnior, E. R., Lopes, C. L., Neto, M. G., Dantas, G. A. F., Marantam, D. C. M., de A. Angelo, F. D., et al. Effects of group-based versus individual physical exercise programs for knee osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis. *Manual Therapy, Posturology & Rehabilitation Journal, 22*.
17. Plumb Vilardaga, J. C., Kelleher, S. A., Diachina, A., Riley, J., & Somers, T. J. (2022). Linking physical activity to personal values: Feasibility and acceptability randomized pilot of a behavioral intervention for older adults with osteoarthritis pain. *Pilot and Feasibility Studies, 8*(1), 164.

18. Fioratti, I., Fernandes, L. G., Reis, F. J., & Saragiotto, B. T. (2020). Strategies for a safe and assertive telerehabilitation practice. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 25(2), 113–126.
19. Naeemabadi, M., Fazlali, H., Najafi, S., Dinesen, B., & Hansen, J. (2020). Telerehabilitation for patients with knee osteoarthritis: A focused review of technologies and teleservices. *JMIR Biomedical Engineering*, 5(1), e16991
20. Yamamoto, Y., Murata, Y., Tanaka, N., Shigemura, T., Maruyama, J., Nakane, R., et al. (2022). Mobile application for home exercise adherence in patients with knee osteoarthritis: A pilot study. *Medicine*, 101(42), e31181.
21. Tedeschi, R., Platano, D., Pillastrini, P., Berti, L., & Benedetti, M. G. (2024). Effectiveness of tele-rehabilitation in patients with knee osteoarthritis: A randomized controlled trial. *Digital Health*, 10, 20552076241286186.
22. Stamou, M., Nikolaou, C., & Choiras, S. (2024). Telerehabilitation in physiotherapy science: A scoping review. *Cureus*, 16(2), e54396.
23. Oh-Park, M., Lew, H. L., & Raghavan, P. (2021). Telerehabilitation for geriatrics. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 32(2), 291–305.
24. Chen, Y. P., Lin, C. Y., Kuo, Y. J., & Lee, O. K. S. (2022). Feasibility and effect of a wearable motion sensor device in facilitating in-home rehabilitation program in patients after total knee arthroplasty: A preliminary study. *Applied Sciences*, 12(5), 2433.
25. Cudejko, T., Button, K., Willott, J., & Al-Amri, M. (2021). Applications of wearable technology in a real-life setting in people with knee osteoarthritis: A systematic scoping review. *Journal of Clinical Medicine*, 10(23), 5645.
26. Khan, S. T., Huffman, N., Li, X., Sharma, A., Winalski, C. S., Ricchetti, E. T., et al. (2025). Pain assessment in osteoarthritis: Present practices and future prospects including the use of biomarkers and wearable technologies, and AI-driven personalized medicine. *Journal of Orthopaedic Research*, 43(7), 1217–1229.
27. World Health Organization. (2021). *Global strategy on digital health 2020–2025*. World Health Organization.