



## REVIEW ARTICLE

# Artificial Intelligence Based Wearable Robotic Exoskeletons For Rehabilitation Of Amputee Patients: Meta Analysis

\*<sup>id</sup> Merve Çörekçi, <sup>1</sup><sup>id</sup> Türker Tekin Ergüzel

\*Uskudar University, Institute of Health Sciences, Department of Neuroscience, Istanbul, Türkiye

[merve.corekci@st.uskudar.edu.tr](mailto:merve.corekci@st.uskudar.edu.tr), [Orcid.0000-0002-1098-4651](https://orcid.org/0000-0002-1098-4651).

<sup>1</sup> Uskudar University, Faculty of Engineering, Software Engineering, Istanbul, Türkiye

[turker.erguzel@uskudar.edu.tr](mailto:turker.erguzel@uskudar.edu.tr), [Orcid.0000-0001-8438-6542](https://orcid.org/0000-0001-8438-6542).

**Citation:**

Çörekçi, M. Ergüzel, T. (2024). *Artificial Intelligence Based Wearable Robotic Exoskeletons For Rehabilitation Of Amputee Patients: Meta Analysis*, Journal of Science, Technology and Engineering Research, 4(1): 1-10. DOI: 10.53525/jster.1430072

**HIGHLIGHTS**

- The effect of artificial intelligence technologies used in single-source amputee patient rehabilitation
- Comparison of the most used artificial intelligence technologies in amputee patient rehabilitation
- BCI technology is more preferred in amputee patient rehabilitation
- Researchers can find artificial intelligence technologies used in amputee patients from a single source

**Article Info**

Received : 1 February 2024

Accepted : 3 March 2024

**DOI:**

10.53525/jster.1430072

**\*Corresponding Author:**

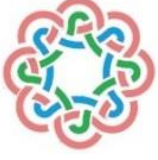
Merve Çörekçi

[merve.corekci@st.uskudar.edu.tr](mailto:merve.corekci@st.uskudar.edu.tr)

**ABSTRACT**

Amputation is the loss of all or part of an extremity due to accidents, diabetes, cancer, tumours, osteomyelitis, dysvascular diseases. Amputation affects the motor functions and quality of life of millions of people worldwide. In addition, people with this disability are psychologically affected as well as reduced mobility. This research aims to examine the effect of artificial intelligence-based exoskeletons, which are the source of hope for amputees, on amputee rehabilitation and to compare the artificial intelligence technologies used. For this purpose, the literature was reviewed and a qualitative meta-analysis of the researches of the last 10 years on the effects of artificial intelligence technologies such as brain-computer interface, machine learning, deep learning, artificial neural networks on amputee patient rehabilitation was performed. As a result of the qualitative meta-analysis, it was seen that the most commonly used artificial intelligence technology in amputee patient rehabilitation is the brain-computer interface and all of the artificial intelligence-based exoskeletons used have a positive effect on rehabilitation, and thanks to these artificial intelligence technologies, the mobility limitations of patients with amputation are reduced.

**Keywords:** Amputee rehabilitation, Artificial intelligence, Brain-computer interface, Deep learning, Exoskeletons.



## İNCELEME MAKALESİ

# Ampute Hastaların Rehabilitasyonunda Kullanılan Yapay Zeka Tabanlı Giyilebilir Robotik Dış İskeletler: Meta Analiz

\* Merve Çörekçi, <sup>1</sup> Türker Tekin Ergüzel

\*Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Nöroloji Bölümü, İstanbul, Türkiye  
[merve.corekci@st.uskudar.edu.tr](mailto:merve.corekci@st.uskudar.edu.tr), [Orcid.0000-0002-1098-4651](https://orcid.org/0000-0002-1098-4651).

<sup>1</sup> Üsküdar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye  
[turker.erguzel@uskudar.edu.tr](mailto:turker.erguzel@uskudar.edu.tr), [Orcid.0000-0001-8438-6542](https://orcid.org/0000-0001-8438-6542).

## Alıntı / Citation :

Çörekçi, M. Ergüzel, T. (2024). *Artificial Intelligence Based Wearable Robotic Exoskeletons For Rehabilitation Of Amputee Patients: Meta Analysis*, Journal of Science Technology and Engineering Research, 4(1): 12-34. DOI: 10.53525/jster.9886xx

## ÖNE ÇIKANLAR / HIGHLIGHTS

- Tek kaynakta ampute hasta rehabilitasyonunda kullanılan yapay zeka teknolojilerinin etkisi
- Ampute hasta rehabilitasyonunda en çok kullanılan yapay zeka teknolojilerinin karşılaştırılması
- Ampute hasta rehabilitasyonunda BCI teknolojisinin daha çok tercih edilmesi
- Araştırmacılar tek kaynakta ampute hastalarda kullanılan yapay zeka teknolojilerini bulabilmeleri

## Makale Bilgileri / Article Info

Geliş Tarihi : 1 Şubat 2024

Kabul Tarihi: 3 Mart 2024

DOI: 10.53525/jster.1430072

\* Sorumlu Yazar:

Merve Çörekçi  
[merve.corekci@st.uskudar.edu.tr](mailto:merve.corekci@st.uskudar.edu.tr)

## ÖZET / ABSTRACT

Amputasyon; kazalar, diyabet, kanser, tümör, osteomyelit, disvasküler hastalıklar gibi nedenlerden dolayı herhangi bir ekstremitenin tamamının ya da bir kısmının yokluğudur. Amputasyon dünya çapında milyonlarca insanın motor fonksiyonlarını ve yaşam kalitelerini etkilemektedir. Bu araştırma, ampute hastaların umut kaynağı olan yapay zeka tabanlı dış iskeletlerin ampute rehabilitasyonuna etkisini inceleyip kullanılan yapay zeka teknolojilerini karşılaştırmayı amaçladı. Bu amaç doğrultusunda literatür taranarak yapay zeka teknolojilerinden beyin-bilgisayar arayüzü, makine öğrenimi, derin öğrenme, yapay sinir ağlarının ampute hasta rehabilitasyonuna etkisi ile ilgili son 10 yılın araştırmaların nitel meta analizi yapıldı. Nitel meta analiz sonucunda ampute hasta rehabilitasyonunda en çok kullanılan yapay zeka teknolojisinin beyin-bilgisayar arayüzü olduğu ve kullanılan yapay zeka tabanlı dış iskeletlerin hepsinin rehabilitasyona olumlu etkisinin olduğu ayrıca bu yapay zeka teknolojileri sayesinde amputasyonlu hastaların hareket sınırlılıklarının azaldığı araştırmalarda görüldü.

**Anahtar Kelimeler:** Ampute hasta rehabilitasyonu, yapay zeka, beyin-bilgisayar arayüzü, dış iskeletler, derin öğrenme.

## I. GİRİŞ [INTRODUCTION]

Amputasyon, günlük yaşam aktiviteleri ve yaşam kalitesi üzerinde ani ve belirgin etkisi olan (Persine ve ark., 2022), vücuttaki uzuv veya ekstremitenin bir kısmının çıkarıldığı cerrahi bir prosedürdür (Kanchana. D ve ark., 2021). Vücudun bir bölümünün kaybı yaşam kalitesini önemli ölçüde etkilemekte, dolayısıyla fiziksel ve psikolojik sonuçlara neden olmaktadır (Egle ve ark., 2023). Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO) göre amputeler dünya nüfusunun yaklaşık %0,25'ini ve % 1,25'ini temsil etmektedir (Rodas ve Pérez, 2023). Raporlardan birine göre, her yıl 0,2 milyon ampute artış yaşanıyor ancak birçok ülke amputasyon istatistiklerini takip etmediğinden dünya çapında toplam uzuv ampute sayısını kesin olarak tespit etmek mümkün değildir (Kadir ve ark., 2021).

Bilgisayar tabanlı sistemlerin ve derin öğrenmeye dayalı algoritmaların hızlı gelişimi sayesinde, yapay zeka uzun süredir sağlık hizmetleri alanına entegre edilmiştir (Li ve ark, 2022). Ampute hastalarının rehabilitasyonunda da yapay zeka teknolojilerin kullanımı oldukça yaygındır ve giderek daha çok yaygınlaşmaktadır. Yapay zeka teknolojileri sayesinde çeşitli hastalık, doğuştan gelen hastalıklar ve kazalar sonucunda bir veya birkaç uzvunu kaybeden hastalar, kaybettikleri uzuvlarının motor fonksiyon işlevlerinin birçoğunu yerine getirmektedirler. Myoelektrik kontrol, beyin-bilgisayar arayüzleri, yapay sinir ağları, makine öğrenimi ve derin öğrenme gibi birçok yapay zeka teknojojisi ampute hasta rehabilitasyonunda kullanılmaktadır.

Bu çalışmada üst ekstremitel, alt ekstremitel ya da her ikisini birden kaybeden hastaları araştırarak bu hastaların günlük yaşamda karşılaştıkları zorlukları en aza indiren teknolojilerin kullanıldığı son 10 yılın araştırmaların meta analizini yapmıştır. Bu araştırma sayesinde başta fizyoterapistler olmak üzere bu alanda çalışan terapistlerin ve doktorların bu hastaların rehabilitasyonunu da kullanılan teknolojileri ve etkilerini bir kaynakta bularak bu hastalarının rehabilitasyonunu planlayabileceklerdir.

Bu çalışmada IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Scencedirect, PudMed, Scopus veritabanları kullanarak 2013-2023 yılları arasında yayımlanan araştırmaların meta analizini yapmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar tablolar ve grafikler şeklinde sunulmuştur.

## II. TEORİ VE YÖNTEM [THEORY AND METHODOLOGY]

### 1. Araştırma Yöntemi

Bu araştırma da literatür taraması metodlarından olan nitel meta-analiz yöntemi yani meta sentez kullanılmıştır. Nitel meta analiz, bir konu ile ilgili tüm çalışmaların kapsamlı şekilde toplanıp değerlendirme ve analizden sonra çıkan verilerden genel sonuca varmak için kullanılan yöntemdir. Yani meta-sentez, benzer bir konudaki farklı nitel çalışmaların bulgularını karşılaştırıp bütünleştirerek teorik bir model keşfetmek veya geliştirmek amacıyla kullanılan, nispeten yeni bir nitel yöntemdir (Güneş ve Erdem, 2022). İlk etapta sağlık bilimlerinde kullanılan meta-analiz yöntemi, bir ilacın etkisini incelenen, bir etkiye karşı bölgelerdeki ölüm oranlarını inceleme gibi amaçlarla kullanılmış, giderek yaygınlaşarak diğer bilim dallarında da kullanılmaya başlanmıştır (Dinçer, 2014). Bu araştırmada ise yapay zeka teknolojilerinden beyin bilgisayar arayüzü, makine öğrenimi, derin öğrenme ve yapay sinir ağlarının ampute hasta rehabilitasyonunda etkisinin nitel meta analizini yapmıştır.

### 2. Verilerin toplanması

Çalışma konusu belirlendikten sonra konu ile ilgili anahtar kelimeler belirlenmiştir. Belirlenen anahtar kelimeler 'ampute hasta', 'ampute hasta rehabilitasyonu', 'yapay zeka', 'beyin bilgisayar arayüzü', 'makine öğrenimi', 'derin öğrenme' ve 'yapay sinir ağı' kelimeleri kullanılmıştır. Bu anahtar kelimeler kullanılarak literatür taraması yapılmıştır.

Literatür taraması IEEE, Scencedirect, PudMed, Scopus veri tabanların da yapılmıştır. Ayrıca bu araştırma da 2013-2023 yılları arasındaki makaleler incelenmiştir. Literatür taraması sonucu dahil edilme kriterlerini taşıyan 20 makaleye ulaşılmıştır. Dahil edilme kriterleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo I.**

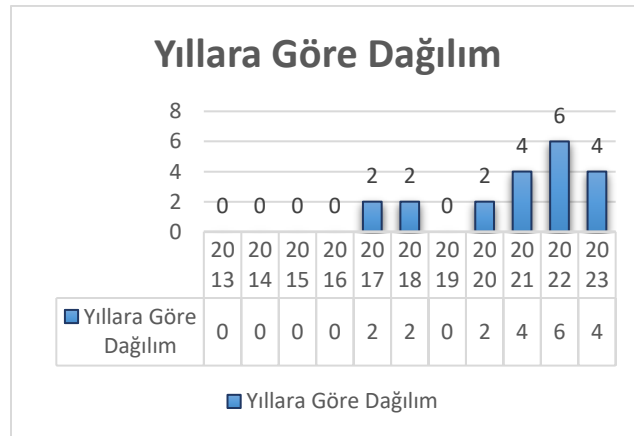
Araştırmaya dahil edilme kriterleri.

Dahil Edilme Kriterleri	
<b>Kriter 1</b>	2013- 2023 yılları arasında yayınlanmış olması
<b>Kriter 2</b>	IEEE, Sciencedirect, PudMed, Scopus veri tabanlarından birinde yayınlanmış olması
<b>Kriter 3</b>	Araştırmada hareket açığa çıkaracak dış iskelet olması
<b>Kriter 4</b>	Yapılan araştırmanın denek üzerinde denenmiş olması
<b>Kriter 5</b>	Araştırmada yapay zeka teknolojilerinden beyin bilgisayar arayüzü, beyin makine arayüzü, makine öğrenimi, derin öğrenme, yapay sinir ağı kullanılmış olması

Meta-sentez çalışmalarında anlamlı ve geçerli meta-sentezlere ulaşmak amacıyla çalışma amacına uygun en az 10-12 araştırmanın çalışmaya dâhil edilmesi önerilmektedir (Poggenpoel ve Myburgh, 2008: 66). Araştırma için de dahil edilme ölçütlerini sağlayan 20 makalenin orijinal metinleri araştırmacı tarafından okunarak araştırmalar hakkında detaylı bilgiler elde edilmiştir. Elde edilen bu bilgilerin meta analizi için içerik analizi tekniği ve betimsel analiz tekniği kullanılmıştır. Bu analiz şekli ampute hasta rehabilitasyonun da kullanılan yapay zeka teknolojilerinden BCI, derin öğrenme, makine öğrenimi, yapay sinir ağları kullanılarak yapılmış nitel ve nicel araştırmaların sonuçları tanınmış ve değerlendirilmiştir. Belirlenen çalışmalar yayımlandıkları yıllara, vücut segmentine, DoF sayısına, kullanılan denek ve cihazın uygulamasına göre sonuçlar incelenmiş ve analiz edilmiştir. Ve bu analizden elde edilen bulgular tablolar ile sunulmuştur.

### III. BULGULAR [RESULT]

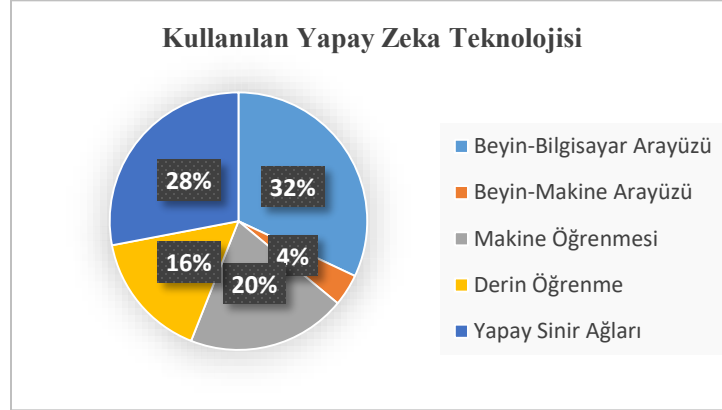
Araştırmanın bu bölümünde araştırmaya dahil olma kriterlerini taşıyan gerekli alt kategorilere ayrılmış, kodlamaları yapılmış, karşılaştırmaları yapılarak nitel meta analizi yapılmıştır. Ve sonuçlar tablolar halinde bu bölümde sunulmuştur. Karşılaştırma, belirlenen çalışmaların yayımlandıkları yıllara, kullanılan yapay zeka teknolojisine, vücut segmentine, DoF sayısına, kullanılan deneğe göre yapılmıştır. Şekil 1’de incelenen makalelerin yayımlandıkları yıllara göre dağılımını göstermektedir.



**Şekil 1:** Araştırmada kullanılan makalelerin yıllara göre dağılımı.

Şekil 1 incelendiğinde 2022’de 6 makale ile en fazla çalışmanın olduğu görülmektedir. 2013, 2014, 2015, 2016 ve 2019 yıllarında ise nitel meta analize dahil olma kriterlerini sağlayan çalışmalara ulaşılamadığı görülmektedir.

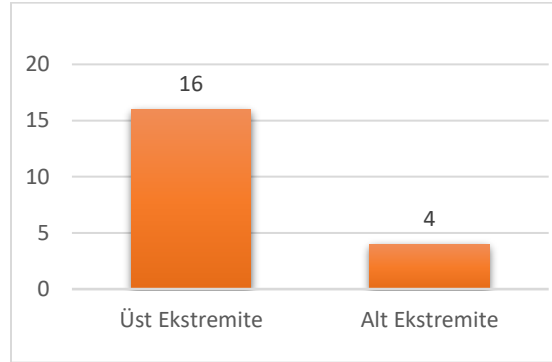
Şekil 2’de araştırmaya dahil edilen makalelerin kullandıkları yapay zeka teknolojisine göre dağılımı göstermektedir.



**Şekil 1:** Araştırmada kullanılan makalelerde kullanılan yapay zeka teknolojisinin dağılımı.

Şekil 2 incelendiğinde %32 oranla beyin-bilgisayar arayüzü ampute hasta rehabilitasyonunda en çok kullanılan yapay zeka teknolojisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Daha sonra sırasıyla %28 oranla yapay sinir ağları, %20 oranla makine öğrenmesi, %16 oranla derin öğrenme ve en son olarak %4 oranla beyin-makine öğrenmesi gelmektedir.

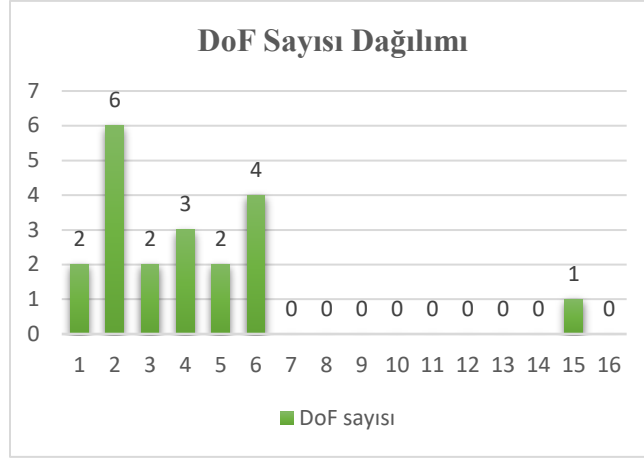
Şekil 3’te nitel meta analize dahil edilen araştırmaların hangi vücut segmentinde yapıldığını göstermektedir.



**Şekil 3:** Nitel meta analize dahil edilen araştırmaların araştırılan vücut segmentine göre dağılımı.

Şekil 3’te görüldüğü gibi bu araştırmada kullanılan makalelerde üst ekstremité alt ekstremitéye göre 4 kat daha fazla araştırmalarda tercih edilmektedir. Bunun nedeni merkezi sinir sisteminin bazı alanları EGG sinyallerini almak için daha elverişlidir. Örneğin beyindeki primer motor kortekste eli kontrol eden alanın yeri kabaca başın yan tarafıdır ama alt ekstremitenin herhangi bir yerinin kontrolü beyin kabuğunda spesifik olarak bulması daha zordur. Bu yüzden araştırmalarda daha çok üst ekstremité tercih edilmektedir.

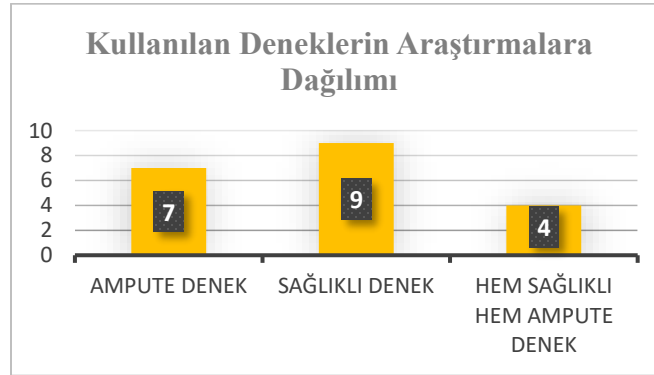
Şekil 4’te bu araştırmada tercih edilen makalelerde dış iskeletlerin DoF sayılarının dağılımı gösterilmektedir.



**Şekil 4:** Araştırmaya dahil edilen makalelerdeki dış iskeletlerin DoF sayılarının dağılımı.

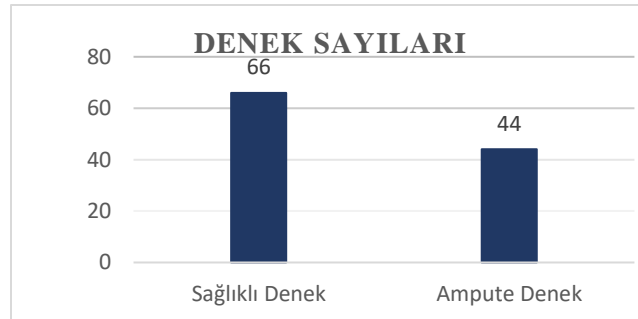
Şekil 4'te incelendiğinde araştırmaya dahil edilen araştırmalarda kullanılan dış iskeletlerin DoF sayılarının çoğunlukla 6 olduğu ve en fazla DoF derecesinin 15 olduğu görülmektedir. DoF sayıları arasındaki farkların olması kullanılan protezin üst ya da alt ekstremité olmasıyla değişebilir. Bunun nedeni üst ekstremité de ve alt ekstremité de bulunan eklemlerin görevleri ve hareketlerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu yüzden bir protez yapacağı göreve göre tek bir DoF derecesine de sahip olabilir 15 DoF derecesine de sahip olabilir.

Şekil 5'te kullanılan deneklerin araştırmalara dağılımı gösterilmektedir.



**Şekil 5:** Kullanılan deneklerin araştırmalara dağılımı.

Şekil 5 incelendiğinde sağlıklı denekler araştırmalarda daha çok kullanıldığı görülmektedir. Araştırmaların bu şekilde karşılaştırma yaparak yapay zeka teknolojilerini karşılaştırması araştırmanın daha sağlıklı sonuç vermesini sağlamaktadır.



**Şekil 6:** Araştırmalarda kullanılan deneklerin sayıları

Şekil 6 incelendiğinde araştırmalarda toplam 100 denek kullanıldığı görülmektedir. 66 sağlıklı denek, 44 tane ise ampute denek üzerinde yapay zeka teknolojisi test edilmiştir. Kullanılan bu teknolojilerin ampute hasta rehabilitasyonu üzerinde etkisini tam olarak anlamak için ampute hasta üzerinde daha çok araştırma yapılmalıdır.

#### IV. TARTIŞMA [ARGUMENT]

Bir uzvun amputasyonu, travmatik yaralanma, yanık, periferik damar hastalığı, enfeksiyon vb. gibi çeşitli nedenlerle bir bacağın, kolun veya bu uzuvların bir kısmının kaybedilmesidir (Saini ve ark., 2023). Bu yüzden travmatik ekstremitte amputasyonu hastaların fonksiyonel ve psikolojik sağlığı açısından yıkıcı olabilir (Schultz ve ark., 2023). Ampute hastaların bu sorunlarını azaltmak için birçok tedavi ve rehabilitasyon yöntemi geliştirilmiştir. Son yıllarda bu alanda yapılan araştırmalar teknolojinin gelişmesiyle artmış ve amputasyonlu hastaların sosyal hayata katılımlarını artırmak için umut kaynağı olmuştur. Çünkü zihin kontrollü bir robotik protez; amputasyon, travma geçiren veya uzuv olmadan doğan hastaların tam ve eksiksiz hareket kabiliyetine sahip olmalarına olanak tanıyacaktır (Anisha ve ark., 2021).

Ampute hastalar için kullanılan yapay zeka tabanlı dış iskeletleri ve bu iskeletlerin rehabilitasyona etkisini araştırmayı amaçlayan bu araştırma bu alanda yapılan araştırmaların meta analizini yapmıştır. Bu araştırma için 2013-2023 yılları arasındaki makaleler incelenmiştir. Ayrıca bu meta analizi gerçekleştirebilmek için 4 veri tabanında literatür taraması yapılmıştır. Bunlar IEEE, Scencedirect, PudMed, Scopus veri tabanlarıdır. Bu veri tabanlarından toplam da dahil edilme kriterlerini taşıyan 20 araştırmaya ulaşılmıştır. Bu araştırmaların anahtar kelimeleri ise ‘ampute hasta’, ‘ampute hasta rehabilitasyonu’, ‘yapay zeka’, ‘beyin bilgisayar arayüzü’, ‘makine öğrenimi’, ‘derin öğrenme’ ve ‘yapay sinir ağı’ şeklindedir.

Araştırmanın bulguları arasında ampute rehabilitasyonunda kullanılan yapay zeka tabanlı dış iskeletlerin son yıllarda kullanımı gittikçe arttığı görülmektedir. Bunun nedeni beyin bilgisayar arayüzü, derin öğrenme, yapay sinir ağları gibi yapay zeka teknolojilerinin son yıllarda popüler olması ve buna bağlı geliştiği düşünülmektedir. Beyin araştırmalarındaki ilerlemeler, engelli hastalarla yapılan çalışmalar da dahil olmak üzere, beyin-bilgisayar arayüzleri aracılığıyla motor eksiklikleri aşmak için bir dizi umut verici fırsat ortaya çıkardı (Cohen ve ark., 2017). Yapılan bu meta analizde de ampute rehabilitasyonunda en fazla beyin-bilgisayar arayüzü kullanıldığı görülmüştür. Beyin- bilgisayar arayüzü hem bozulmuş motor fonksiyonun güçlendirilmesinde hem de felç iyileşmesi gibi rehabilitasyonda umut verici bir avantaj sunmaktadır (Yao ve ark., 2013). Ancak bu alanın hızla genişlemesine rağmen BCI performansının nihai sınırlarının ne olduğu belirsizdir (Cohen ve ark., 2017).

Bu nitel meta analize dahil edilen araştırmalarda yapay zeka tabanlı dış iskeletlerde en az 1 en fazla 15 DoF kullanıldığı tespit edilmiştir. Kullanılan dış iskeletlerde DoF sayısı arttıkça protezin hareket yeteneği artar. Örneğin insan eli, insan vücudundaki en karmaşık ve olağanüstü araçlardan biridir. 27 kemik ve 33 kasın ortak çalışmasıyla 22 DoF sunar (Rehman ve ark., 2022) ama bu araştırmanın bulgularına göre el için yapılan dış iskeletler genellikle 1-6 DoF derecesi arasında değişmektedir. Bu yüzden protezlere yönelik geleneksel kontrol yaklaşımları, birden fazla DoF aynı anda çalıştırırken başarısız oluyor, dolayısıyla günlük yaşam senaryolarında kullanılabilirliği sınırlanıyor (Egle ve ark., 2023). Sınıflandırıcılar, sinyal özelliklerini, bilinen DOF'ler ayrı bir kümesinden (kategoriler) biriyle eşler , birden fazla DOF üzerinde kontrol sunar, ancak cihaz hareket hızı üzerinde orantılı kontrol veya birden fazla DOF üzerinde eşzamanlı kontrol sağlamaz (Williams ve ark., 2022). Dolayısıyla gelecekteki araştırmalarda ampute hastaların kaybettikleri motor fonksiyonlarının çoğunu yerine getirebilmeleri için sınıflandırıcıların yani makine öğrenimi, derin öğrenme, yapay sinir ağları ve bunların alt dallarının geliştirilmesi ve gelecekte bu alanda daha çok araştırma yapıp DoF derecesi daha yüksek yapay zeka tabanlı protezler üretilmesine ihtiyaç vardır.

Araştırmanın bir diğer bulgusu ise daha çok üst ekstremitte amputasyonu olan hastalar için yapay zeka destekli dış iskeletler kullanılarak araştırma yapılmıştır. Bunun nedenleri arasında üst ekstremitte amputasyonuna sahip hastaların daha fazla olması ve kullanılan teknolojilerin üst ekstremitte amputasyonlu hastalara daha uygun olmasına bağlı olabilir. Ek olarak üst ekstremitenin beyinde kapladığı motor alandan EGG sinyali almak alt ekstremitteye göre daha kolay olabilir. Bu da üst ekstremitte amputelerine EGG sinyali için daha fazla kanal kullanma fırsatı sunar. Bazı

çalışmalar birden fazla kanalın kullanılmasının faydalı olduğunu göstermiş ve kanallar arttıkça ortalama sınıflandırma doğruluğunun da artacağını bulmuştur (Elbreki ve ark., 2022).

Birleşmiş Milletler'e (BM) göre dünya çapında insanların yaklaşık %10'unun (yaklaşık 650 milyon) engelli olduğu kaydedilmiştir; bu durum tam da nüfus artışı, tıptaki ilerlemeler ve yaşlanma süreci nedeniyle artmaktadır (Rodas ve Pérez, 2022). Bu nitel meta analizde kullanılan araştırmaların sonuçlarına baktığımızda ise kullanılan yapay zeka teknolojilerinin rehabilitasyon sürecine hepsinin olumlu sonuçları olduğunu görmekteyiz. Amputasyonlu insan sayısı arttığı için ve bu yapay zeka teknolojisinin de olumlu dönüşleri olduğu için gelecekte bu alanda yapılan araştırmaları çoğaltıp teknolojiyi daha geliştirerek ampute hastaların günlük yaşam da karşılaştıkları zorlukları azaltabilmek mümkündür. Bu yüzden beyin-bilgisayar arayüzü, derin öğrenme, makine öğrenmesi gibi yapay zeka teknolojilerinin daha yaygın kullanılması önemlidir.

## V. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME [CONCLUSION]

Son yıllarda herhangi bir nedenle amputasyon cerrahisi geçiren ya da doğuştan uzvu olmayan insanlar için günlük yaşama katılımlarını artıran cihazların gelişmesinde yapay zeka teknolojileri kullanılmaktadır. Amputasyon rehabilitasyonunda da daha çok beyin-bilgisayar arayüzleri, makine öğrenmesi ve alt dalları kullanılmaktadır. Bu yapay zeka teknolojileri niyet kodunun çözülmesi ve istenilen hareketin dış iskelette ortaya çıkarılmasına dayanır. Bu meta analizde kullanılan araştırmalarda bu niyet kodunun çözülmesi, sınıflandırılması gibi çeşitli işlemlerden geçip dış iskelette istenilen hareketi ortaya çıkarma prensibine dayanan araştırmalar kullanılmıştır. Bu araştırmaların ortak sonucu ise amputasyonlu hastalarda kullanılan dış iskeletlerde yapay zeka teknolojisi güvenilir sonuçlar vermektedir. Ortaya çıkan bu sonuçta ise amputasyonlu hastalar için umut kaynağı olmuştur. Ayrıca yapay zeka teknolojilerinin, robotik sistemlerin ve rehabilitasyon yöntemlerinin giderek daha çok yaygınlaşması ve gelişmesiyle bugün tamamen işlevsel protez yani dış iskeletlere sahip olmamızın çok uzakta olmadığı görülmektedir.

Bu çalışmanın sonuçlarına dayanarak ampute hastaların rehabilitasyon sürecinde yapay zeka teknolojilerini, yapay zeka tabanlı dış iskeletlerini aktif olarak kullanmalarını ve yapay zeka teknolojilerinin ampute hasta rehabilitasyonu üzerinde etkilerini daha iyi anlamak için gelecekte bu alanda daha çok araştırma yapılması önerilmektedir. Çünkü son yıllardaki ilerlemeci gelişmelere rağmen hala kaybedilen uzvun tam işlevini görebilecek dış iskelet üretilmemiştir. Ayrıca kontrol paradigmalarını ve rehabilitasyon etkisini kapsamlı bir şekilde değerlendirebilmek için hem ampute denek üzerinde hem de sağlıklı denek üzerinde geniş bir popülasyona sahip daha fazla araştırmaya gerek vardır.

## KATKI ORANI BEYANI [STATEMENT OF CONTRIBUTION RATE]

1. yazar %60 oranında, 2. yazar %40 oranında katkı sağlamıştır.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI [CONFLICTS OF INTEREST]

Yazarlar arasında ve ilgili kurumları arasında herhangi çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## ETİK KURALLARA UYGUNLUK [COMPLIANCE WITH ETHICAL RULES]

Bu makale etik kurul onayı veya herhangi bir özel izin gerektirmemektedir.

## TEŞEKKÜR [ACKNOWLEDGMENT]

Makale çalışmasına yaptığı destekler için değerli hocam Prof. Dr. Türker Tekin Ergüzel'e teşekkür ederim.



**KAYNAKLAR [REFERENCES]**

- [1] Zhouxiao Li, Konstantin Christoph Koban, Thilo Ludwig Schenck, Riccardo Enzo Giunta, Qingfeng Li, Yangbai Güneşi (2022). Artificial Intelligence in Dermatology Image Analysis: Current Developments and Future Trends. *J. Clin. Med.* 11(22), 6826.
- [2] Persine Anran Wang, Xiaolei Xiu, Shengyu Liu, Qing Qian, Sizhu Wu (2022). Characteristics of Artificial Intelligence Clinical Trials in the Field of Healthcare: A Cross-Sectional Study on ClinicalTrials.gov. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 19(20), 13691.
- [3] D, Kanchana, V, Vinothkumar., D, E. Samhithan. (2021). Gesture Controlled Robotic Hand Prosthesis for Upper Limb Amputee Rehabilitation. *2021 IEEE Bombay Section Signature Conference (IBSSC)*, 1-5.
- [4] Fabio Egle, Dario Di Domenico, Andrea Marinelli, Nicolò Boccardo, Michele Canepa, Matteo Laffranchi... Claudio Castellini. Preliminary Assessment of Two Simultaneous and Proportional Myocontrol Methods for 3-DoFs Prostheses Using Incremental Learning. *2023 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)* (24-28.09.2023).
- [5] Dana Terrazas-Rodas and Joanna Carrión-Pérez. The Use of Invasive and Non-Invasive Electrodes in Novel Technology of Upper Limb Prostheses: A Current Review. *2023 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)* (23.08.2023)
- [6] Muhammed Osman Kadir, Muhammed Awais Han, Muzammal Hüseyin, Izhar ul Haq, Nizar Ahtar, Kmaran Şah. Design and Analysis of Knee Joint for Transfemoral Amputees. *2021 International Conference on Artificial Intelligence and Mechatronics Systems (AIMS)* (28-30.04.2021).
- [7] Güneş, D. ve Erdem, R. (2022). Nitel araştırmaların analizi: Meta-sentez. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 22(Özel Sayı 2), 81-98.
- [8] Dinçer, S. (2014). *Eğitim Bilimlerinde Uygulamalı Meta Analiz*. Pegem Akademi Yayıncılık, 2-25.
- [9] Poggenpoel, M. ve Myburgh, C. P. H. (2008). A Meta-Synthesis of Completed Qualitative Research on Learners' Experience of Aggression in Secondary Schools in South Africa. *International Journal of Violence and School*, (8), 60-84.
- [10] Uttam Chand Saini, Shubhankar Bu, Himanshu Bhayana, Mandeep Singh Dhillon, Aseem Mehra (2023). Longitudinal Experience and Determinants for Common Mental Health Problems, Phantom Limb and Functional Outcome in Lower Limb Amputees. *Indian Journal of Orthopaedics*, 57, 2040–2049.
- [11] Blake Schultz, Hristiyan Fıstığın, Nirmal Tejwani (2023). Updates on Residual Limb Management in Lower Extremity Amputation From Nerve to Bone. *Bull Hosp Jt Dis* (2013), 81(4): 240-248.
- [12] M. Anisha, M. Sushmitha, S. Surekha, N. Vigneshwari, Ponmozhi Chezhiyan, C. Jim Elliot... SB Pooja. Exploration on Electroencephalogram Controlled Haptic Humanoid Arm for amputees. *2021 Second International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC)* (04-06.08.2021).
- [13] Ori Cohen, Dana Doron, Moşe Koppel, Rafael Malach, Doron Friedman. High performance in brain-computer interface control of an avatar using the missing hand representation in long term amputees. *2017 8th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER)* (25-28.05.2017).
- [14] Lin Yao, Xiaokang Shu, Jianjun Meng, Dingguo Zhang, Xinjun Sheng, Xiangyang Zhu. Enhanced motor imagery based brain-computer interface via unilateral wrist vibrotactile stimulation. *2013 6th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER)* (06-08.11.2013).
- [15] Mustafa Ür Rehman, Kamran Şah, İzhar Ul Haq, Hasan Hurşid. A Force Myography based HMI for Classification of Upper Extremity Gestures. *2022 2nd International Conference on Artificial Intelligence (ICAI)* (30-31.03.2022).
- [16] Heather E. Williams, Ahmed W. Şehata, Michael R. Dawson, Erik Şeması, Jacqueline S. Hebert, Patrick M. Pilarski (2022). Recurrent Convolutional Neural Networks as an Approach to Position-Aware Myoelectric Prosthesis Control. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 69 (7), 2243 – 2255.
- [17] AM Elbreki, Safa Ramazan, Faysal Muhammed, Khadija Alshari, Zakariya Rajab, B. Elhub. Practical Design of an Upper Prosthetic Limb Using Three Dimensional Printer with an Artificial Intelligence Based Controller. *2022 International Conference on Engineering & MIS (ICEMIS)* (04-06.07.2022).
- [18] Dana Terrazas-Rodas and Joanna Carrión-Pérez. Artificial Intelligence Techniques for Biosignal Pattern Recognition and Classification in Upper-Limb Prostheses: A Review. *2022 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence Systems (IoTaIS)* (24-26.11.2022).
- [19] Morten B. Kristoffersen, Andreas W. Franzke, Raoul M. Bongers, Michael Wand, Alessio Murgia, Corry K. van der Sluis (2021). User training for machine learning controlled upper limb prostheses: a serious game approach. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 18, 32.
- [20] Anh Tuan Nguyen, Jian Xu, Ming Jiang, Diu Khue Luu, Tong Wu, Wing-kin Tam... Qi Zhao (2020). A bioelectric neural interface towards intuitive prosthetic control for amputees. *Journal of Neural Engineering*, 17,6.
- [21] Zheng You Lim and Neo Yong Quan. Convolutional Neural Network Based Electroencephalogram Controlled Robotic Arm. *2021 IEEE International Conference on Automatic Control & Intelligent Systems (I2CACIS)* (26.06.2021).
- [22] Bin Fang, Chengyin Wang, Fuchun Güneş, Ziming Chen, Jianhua Shan, Huaping Liu... Wenyuan Liang (2022). Simultaneous sEMG Recognition of Gestures and Force Levels for Interaction With Prosthetic Hand. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 30 (2426 – 2436).

- [23] Minjae Kim, Ann M. Simon, Levi J. Hargrove (2022). Seamless and intuitive control of a powered prosthetic leg using deep neural network for transfemoral amputees. *Wearable Technologies*, 3.
- [24] Elaine M. Bochniewicz, Geoff Emmer, Alexander W. Dromerick, Jessica Barth, Peter S. Lum (2023). Measurement of Functional Use in Upper Extremity Prosthetic Devices Using Wearable Sensors and Machine Learning. *Sensors*, 23(6).
- [25] Markus Nowak, Raoul M. Bongers, Corry K. van der Sluis, Alin Albu-Schäffer, Claudio Castellini (2023). Simultaneous assessment and training of an upper-limb amputee using incremental machine-learning-based myocontrol: a single-case experimental design. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 20.
- [26] Author links open overlay panel Baao Xie, James Meng, Baihua Li, Andy Harland (2022). Biosignal-based transferable attention Bi-ConvGRU deep network for hand-gesture recognition towards online upper-limb prosthesis control. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 224.
- [27] Sachin Kansal, Dhruv Garg, Aditya Upadhyay, Snehil Mittal, Guneet Singh Talwar (2023). DL-AMPUT-EEG: Design and development of the low-cost prosthesis for rehabilitation of upper limb amputees using deep-learning-based techniques. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 126.
- [28] Anh Tuan Nguyen, Jian Xu, Ming Jiang, Diu Khue Luu, Tong Wu, Wing-kin Tam... Qi Zhao (2020). A bioelectric neural interface towards intuitive prosthetic control for amputees. *Journal of Neural Engineering*, 17,6.
- [29] DSV Bandara, Jumpei Arata, Kazuo Kiguchi (2018). Towards Control of a Transhumeral Prosthesis with EEG Signals. *Bioengineering*, 5(2), 26.
- [30] Arnau Dillen, Elke Lathouwers, Aleksandar Miladinović, Uros Marusić, Fakhreddine Ghaffari, Olivier Romain... Kevin De Pauw (2022). A data-driven machine learning approach for brain-computer interfaces targeting lower limb neuroprosthetics. *Front. Hum. Neurosci.*, 16.
- [31] An Tuan Nguyen, Markus W Drealan, Diu Khue Luu, Ming Jiang, Jian Xu, Jonathan Cheng... Zhi Yang (2021). A Portable, Self-Contained Neuroprosthetic Hand with Deep Learning-Based Finger Control. *J Neural Eng.*, 11;18(5).
- [32] Douglas P. Murphy, Ou Bai, Ashraf S. Gorgey, John Fox, William T. Lovegreen, Brian W. Burkhardt... Ding-Yu Fei (2017). Electroencephalogram-Based Brain-Computer Interface and Lower-Limb Prosthesis Control: A Case Study. *Front. Neurol.*, 8.
- [33] G Gayathri, Ganesha Udupa, G. J. Nair. Control of bionic arm using ICA-EEG. *2017 International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICICT)* (06-07.07.2017).
- [34] Mojisola Grace Asogbon, Oluwarotimi Williams Samuel, Xiangxin Li, Naifu Jiang, Naifu Jiang, Oluwagbenga Paul Idowu, Yanbing Jiang... Guanglin Li. A Low-rank Spatiotemporal based EEG Multi-Artifacts Cancellation Method for Enhanced ConvNet-DL's Motor Imagery Characterization. *2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)* (01-05.11.2021).
- [35] Mojisola Grace Asogbon, Oluwarotimi Williams Samuel, Xiangxin Li, Naifu Jiang, Naifu Jiang, Oluwagbenga Paul Idowu, Yanbing Jiang... Guanglin Li. A Robust Multi-Channel EEG Signals Preprocessing Method for Enhanced Upper Extremity Motor Imagery Decoding. *2020 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)* (13-16.10.2020).
- [36] Diego Ronaldo Cutipa-Puma, Cristian Giovanni Coaguila-Quispe, Pablo Raul Yanyachi (2023). A low-cost robotic hand prosthesis with apparent haptic sense controlled by electroencephalographic signals. *HardwareX*, 14.
- [37] Muhammad Yasin, Achmad Arifin, Muhammad Hilman Fatoni. Ankle Prosthesis With Brain Computer Interface Commands Based on Electroencephalograph for Transtibial Amputees. *2022 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)* (20-21.07.2022).
- [38] Kaushalya Kumarasinghe, Mahonri Owen, Denise Taylor, Nikola Kasabov, Chi Kit. FaNeuRobot: A Framework for Robot and Prosthetics Control Using the NeuCube Spiking Neural Network Architecture and Finite Automata Theory. *2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (21-25.05.2018).