

MOTOR İMGELEME EEG SİNYALLERİNİN DERİN ÖĞRENME YÖNTEMİ İLE SINIFLANDIRILMASI ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALARIN BİBLİYOMETRİK ANALİZİ*

Umut ÖZFİDAN¹
Gülsüm ŞANAL²
Kübra EROĞLU³

ÖZET

Bu çalışma, motor imgeleme EEG sinyallerinin derin öğrenme yöntemi ile sınıflandırılmasına ilişkin yayınların nicel analizini bibliyometrik analiz yöntemi kullanarak sunmaktadır. Çalışmanın amacı, yapılan inceleme sayesinde alandaki bilgi birikiminin daha iyi anlaşılması ve bu yolla sonraki çalışmalara rehberlik etmesinin sağlanmasıdır. Bu doğrultuda konuyla ilgili veriler Web of Science veritabanı üzerinden filtrelenmiş ve VosViewer uygulaması ile analiz edilmiştir. 2013 yılından itibaren “Motor imgeleme EEG sinyallerinin sınıflandırılmasında derin öğrenme teknikleri” konulu araştırmaların sayısında gözlenen artış, çalışmanın öncü bulgusu olarak ortaya çıkmıştır. Çin’in ilgili konuda en çok yayın yapan ve atıf alan ülke olması bir diğer önemli bulgudur. Ayrıca önde gelen araştırmacılar, en etkili yayınlar, en etkili kategoriler, en etkili kurumlar da zaman ve ısı haritası vb. ile saptanmıştır. Son olarak makalelerin bu konudaki araştırmalarda baskın belge türü olduğu tespit edilmekle birlikte, konferans bildirileri ile derleme makalelerin de önemli bir yer tuttuğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: EEG, Derin Öğrenme, Motor İmgeleme, Bibliyometrik Analiz

BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF CLASSIFYING MOTOR IMAGERY EEG SIGNALS USING DEEP LEARNING METHODS

ABSTRACT

This study presents a quantitative analysis of publications on the classification of motor imagery EEG signals using deep learning methods through bibliometric analysis. The aim of the study is to enhance understanding of accumulated knowledge in the field and guide future research. To achieve this, data related to the topic were filtered from the Web of Science database and analyzed using VosViewer. A notable finding is the observed increase in research on "Deep learning techniques for classifying motor imagery EEG signals" since 2013. China emerges as the leading country in both publication and citation impact. Furthermore, prominent researchers, influential publications, effective categories, and institutions were identified using time and heat maps. Finally, the study concludes that while articles dominate the research in this area, conference papers and review articles also hold significant positions.

Keywords: EEG, Deep Learning, Motor Imagery, Bibliometric Analysis

* “Derin Öğrenme Yöntemi İle Hayali Motor EEG Sinyallerinin Sınıflandırılması” isimli yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

¹Nişantaşı Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yapay Zeka Mühendisliği, ORCID: 0009-0009-4076-499X, 20221500297@std.nisantasi.edu.tr.

²Dr.Öğr.Üyesi, Nişantaşı Üniversitesi, İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, ORCID: 0000-0002-9726-4947, gulsum.sanal@nisantasi.edu.tr.

³Dr.Öğr.Üyesi, İstanbul Topkapı Üniversitesi, Elektrik- Elektronik Mühendisliği, ORCID: 0000-0001-5098-8924, kubraeroglu@topkapi.edu.tr.

GİRİŞ

Beyindeki elektrik iletimi, nöron adı verilen sinir hücreleri arasında gerçekleşir (Altaheri vd., 2023). Bu iletişim, bir nöronun diğerine elektriksel sinyaller göndermesi ve bu sinyallerin sinaps adı verilen boşluklar aracılığıyla nörotransmitter adı verilen kimyasallarla iletilmesi şeklinde işler. Nöronlar, vücuttaki elektriksel sinyallerini ileten hücrelerdir. Bir uyarıcı, nöronun dendritlerine ulaştığında, eğer yeterince güçlüyse, nöronun zarında aksiyon potansiyeli adı verilen bir elektriksel sinyal oluşur ve bu sinyal nöron boyunca hızla yayılır (Zhang vd., 2019). Nöronlar, sinapslar aracılığıyla diğer nöronlarla veya hedef hücrelerle iletişim kurar. Aksiyon potansiyeli, nöronun sinirsel ucundan nörotransmitterlerin sinapsa salınmasını tetikler. Bu nörotransmitterler, postsinaptik hücrenin zarındaki reseptörlere bağlanır ve bu hücre üzerinde değişikliklere yol açar. Sonrasında, nörotransmitterlerin fazlası presinaptik nöron tarafından geri alınır ya da parçalanır, bu da sinyalin kontrol altında tutulmasını sağlar. Bu süreçler, beyindeki bilgi işleme ve kontrol süreçlerinin gerçekleşmesine olanak tanır.

Elektroensefalografi (EEG) sinyalleri, beyin aktivitesinin elektriksel hareketlerini yansıttığı için nörobilim çalışmalarında ve klinik teşhislerde hayati öneme sahiptir. Motor imgesi ile ilişkili EEG sinyallerinin analizi, yani fiziksel bir hareket gerçekleşmeden zihinde hareketin simüle edilmesi, beyin-bilgisayar arayüzleri (BBA) geliştirilmesinde önemli olanaklar sunar. Motor imgelemeye dayalı BBA' lar, ciddi motor engeline sahip bireylerin çevreleriyle etkileşim kurma yeteneklerini artırarak iletişim ve kontrol sağlayabilir (Al-Saegh vd., 2021). Ancak, motor imgeleme EEG sinyallerinin sınıflandırılması, sinyallerin yüksek boyutluluğu, düşük sinyal-gürültü oranı ve bireylerarası değişkenlik nedeniyle önemli zorluklar içermektedir. Geleneksel makine öğrenimi teknikleri bu tür verileri etkili bir şekilde işlemede çoğu zaman yetersiz kalmaktadır. Son yıllarda, derin öğrenme yaklaşımları geleneksel yöntemlerle kolayca eşleştirilemeyen güçlü özellik çıkarma ve sınıflandırma yetenekleri sunarak güçlü bir çözüm olarak ortaya çıkar.

BBA sistemlerinin etkinliğini artırmada kritik bir rol oynayan motor imgeleme EEG sinyallerinin sınıflandırılması, son yıllarda bilim dünyasında büyük ilgi görmektedir. Bu ilgi, özellikle derin öğrenme tekniklerinin bu alandaki potansiyelini maksimize etme çabasıyla daha da artmıştır.

Günümüzde bilim ve teknoloji alanlarındaki hızlı gelişmeler, araştırmacıların ve uygulayıcıların ilgili literatürü sürekli takip etmelerini zorunlu kılar. Ancak, sürekli artan yayın miktarı, bireylerin ve kurumların önemli bilgileri etkili bir şekilde süzgeçten geçirip analiz etmelerini zorlaştırmaktadır. İşte bu noktada bibliyometrik analiz devreye girer; yayınların, yazarların ve araştırma kurumlarının performansını değerlendirir, iş birlikleri ve etki düzeyleri hakkında bilgiler sunar. Ayrıca, belirli bir araştırma konusuna hangi coğrafyalardan, disiplinlerden veya sektörlerden ilgi olduğunu ortaya çıkararak, araştırma alanlarının multidisipliner doğasını ve küresel etki alanını aydınlatır. Yayın geçmişi hakkındaki bilgilerin niceliksel analizi aracılığıyla, belirli bir araştırma alanı içindeki bilimsel çıktının özellikleri ve gelişimi haritalandırılabilir. Bibliyometrik yöntemler, yazarların, dergilerin, ülkelerin ve enstitülerin performansını ve araştırma desenlerini değerlendirmek ve bunlar arasındaki iş birliği desenlerini belirlemek, niceliklendirmek için kullanılabilir (Jia vd., 2014; Li ve Hale, 2016). Belirli bir konuda yayın yapan etkili yazarlar, yayınlar, ana dergiler, ülkeler ve kurumlar belirlenebilir. Belirli bir konuda farklı dergilerin yayımlanma sayısı ve yayınlara ayrılan konu kategorileri, araştırma temalarının çeşitliliğine ve bir araştırma alanının çok disiplinli karakterine dair bir fikir verebilir (Li ve Zhao, 2015).

Bu çalışmada “derin öğrenme yöntemleri ile motor imgeleme EEG sinyallerinin sınıflandırılması” konulu uluslararası yayınlar bibliyometrik analiz yöntemleri ile analiz edilerek alandaki akademik ilerlemeler ve araştırma trendleri ortaya koyulmuştur. Bu analiz, alanın genel yapısının ve gelişiminin anlaşılmasına, etkili araştırma gruplarının ve en çok atıf alan çalışmaların saptanmasına yardımcı olacak ve böylelikle ilgili literatürü bütüncül olarak betimleme gücü dolayısıyla alanyazına katkı sağlayacaktır.

Bibliyometrik analiz türünün genel olarak alandaki bilimsel çalışmalara stratejik bir rehberlik sağlaması beklenmektedir. Ayrıca, bu çalışma multidisipliner iş birliklerinin teşvik edilmesi ve araştırma alanındaki bilgi birikiminin daha iyi anlaşılması için de bir zemin hazırlayacaktır.

KONU İLE İLGİLİ BIBLİYOMETRİK ANALİZLER

Bibliyometri, belirli bir araştırma alanında en son ilerlemeleri, araştırma yönlerini ve önde gelen konuları ortaya çıkarabilir (Wang vd., 2014). Bibliyometrik analiz, ayrıca belirli bir araştırma disiplinde, içerik açısından ve coğrafi olarak mevcut boşlukların belirlenmesine olanak tanır (Gall vd., 2015).

Chen ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, 2009-2018 yılları arasındaki yapay zekâ destekli insan EEG analizi üzerine yapılan araştırmalar incelenmektedir. Web of Science veri tabanından toplanan 2053 makale üzerinden yapılan bibliyometrik analizde ABD ve Çin bu alandaki en etkili ve üretken ülkeler olarak belirlenmiştir. Anahtar kelime analizleri, 'elektroensefalografi' ve 'beyin-bilgisayar arayüzü' gibi terimlerin sıklıkla kullanıldığını ortaya koymuştur (Chen vd., 2022).

Tsilamou ve arkadaşlarının EEG' nin nörorehabilitasyonda kullanımına yönelik araştırmasında yine bibliyometrik analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu analize göre en etkili makale, L.F. Nicolas-Alfonso ve J. Gomez-Gill tarafından yazılan "Beyin-bilgisayar arayüzleri, bir inceleme" başlıklı çalışmadır ve 997 alıntıya sahiptir. En üretken ülkeler arasında ABD, İtalya ve Almanya bulunmaktadır (Tsiamalou vd., 2022).

Zhang ve arkadaşları çalışmalarında, 1995' ten 2022' ye kadar Otizm Spektrum Bozukluğu tedavisinde yapay zekanın global araştırma durumunu bibliyometrik analiz yöntemi ile analiz etmişlerdir. Onlar ülkeler/kurumlar/yazarlar arasındaki iş birliğini, anahtar kelimelerin kümelenmesini, ayrıca referans analizlerini incelemek için CiteSpace, VOSviewer, Pajek ve Scimago Graphica kullanmışlardır. Toplamda 448 literatür incelenmiştir. Literatür sayısında artan bir eğilim görüldüğü tespit edilmiştir. Buna göre, en üretken ülke ve kurum ABD ve Vanderbilt Üniversitesi, en büyük katkıda bulunan yazarlar ise Warren, Zachary, Sakar, Nilanjan ve Swanson, Amy' dir. En üretken ve en çok alıntı yapılan dergi de Journal of Autism and Developmental Disorders' dir (Zhang vd., 2022).

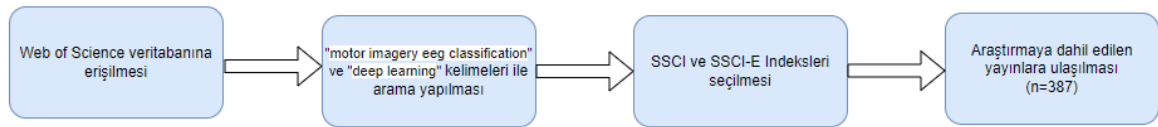
Dindorf ve arkadaşları sporlarda yapay zekâ, derin öğrenme ve makine öğrenimi konusunda mevcut literatüre dair içgörüler elde etmek üzere bir bibliyometrik analiz yapmışlardır. Scopus veritabanı kullanılarak 1215 doküman (incelemeler ve makaleler) seçilmiştir. Bibliyometrik analizi VOSviewer uygulaması ile gerçekleştirmişlerdir. Ana bulguları şu şekildedir: Yapay zekâ ve alt kategorilerine ilişkin literatür ve araştırma ilgisi üssel olarak büyümektedir. En çok alıntı yapılan ilk 20 çalışma toplam alıntılarının %32.52'sini

oluşturmaktadır ilk 10 dergi yayımlanan tüm dokümanların %28.64'ünden sorumludur (Dindorf vd., 2023).

Chen ve arkadaşları yapay zekâ uygulamalarının manyetik rezonans görüntüleme (MRI) verilerinin işlenmesinde başlıca araştırma konuları ve potansiyel gelecek yönlerinin keşfi için Latent Dirichlet Ataması (LDA) temelli bir bibliyometrik analiz sunmuşlardır. Neuroimage, en üretken ve etkili dergi olarak öne çıkmaktadır. Araştırmaya en büyük katkıyı Amerika Birleşik Devletleri ve University College London sağlamıştır. Avrupa ülkeleri arasında iş birliği çok yakındır (Chen vd., 2021).

YÖNTEM

Bu çalışmada Web of Science (WOS) Core Collection veri tabanı kullanılmıştır. Web of Science, bilimsel yayınların incelenmesi için en fazla kullanılan veri tabanı olduğu için arama motoru olarak seçilmiştir (Yang vd., 2013). WOS veri tabanına 09.05.2024 tarihinde erişilerek “motor imagery eeg classification” ve “deep learning” arama sözcükleri ile arama yapılmış ve sonuçta 569 adet kaynağa erişim sağlanmıştır. Yayın türü “SSCI” ve “SSCI-E” olarak filtrelendiğinde ise 387 adet kaynağa ulaşılmıştır. Yöntem olarak bibliyometrik analiz tercih edilmiş, elde edilen ham veriyi görselleştirmek için Vosviewer uygulaması kullanılmıştır.

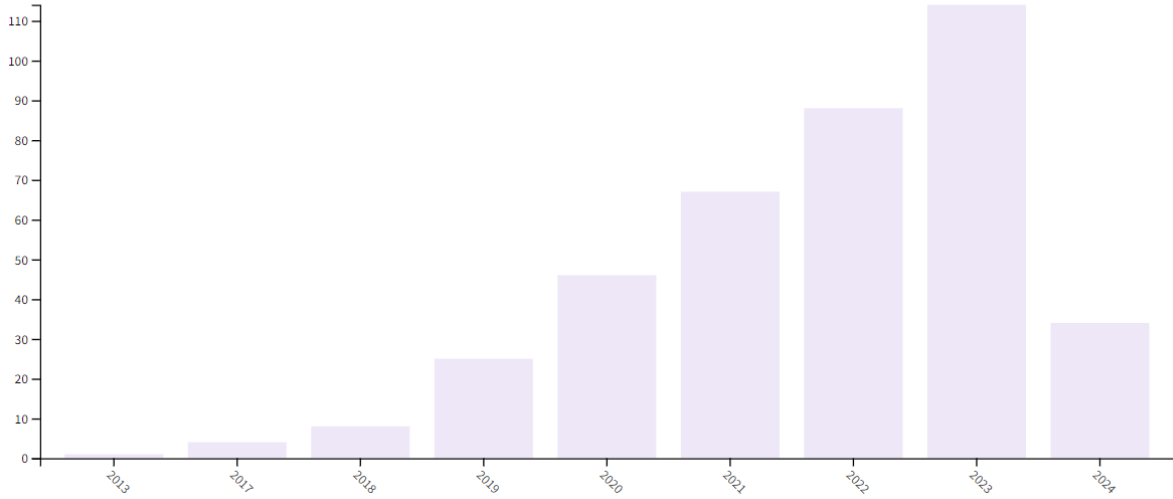


Şekil 1: Araştırmada İzlenen Yöntem

BULGULAR

Yıl Analizi

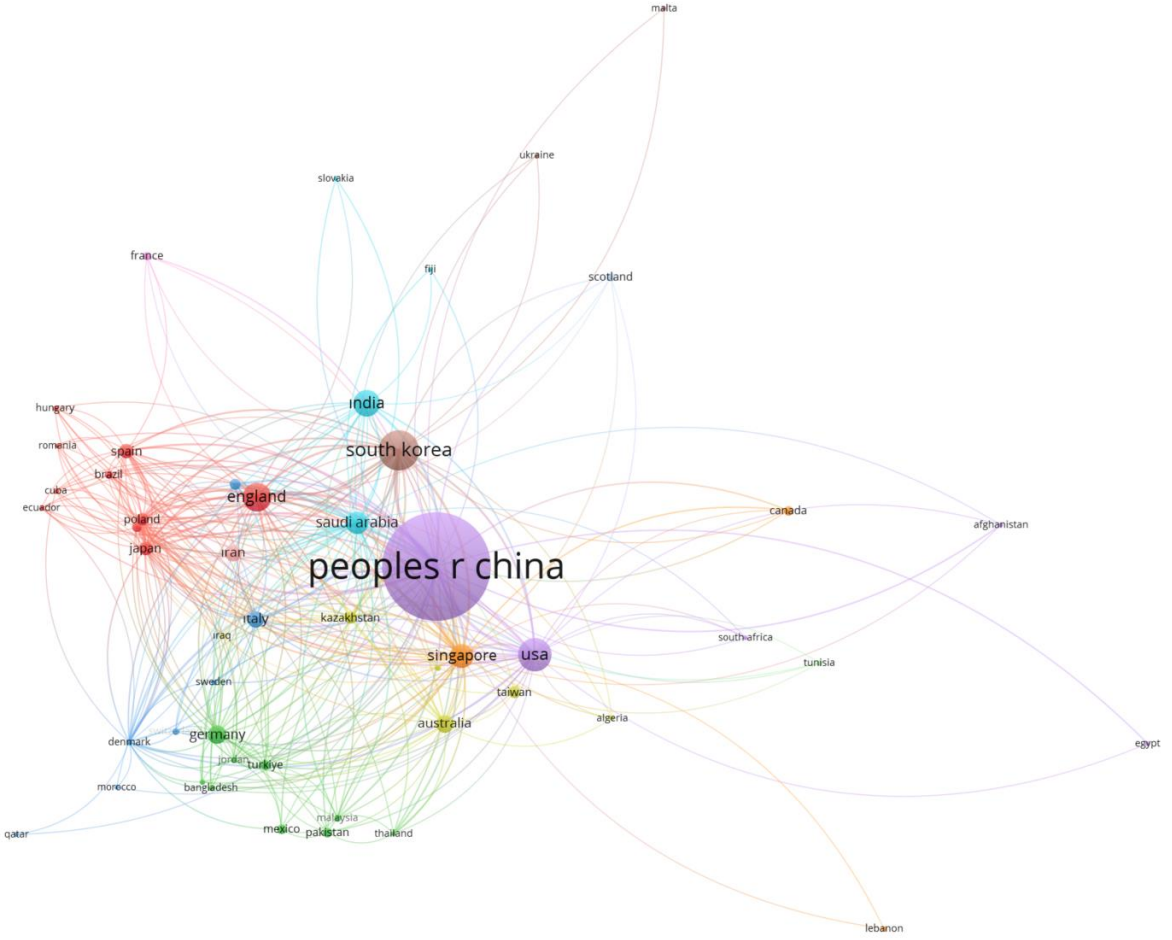
Çalışmalar incelendiğinde derin öğrenme yöntemleri ile motor imgeleme EEG sinyallerinin sınıflandırılması konusunun 2013 yılından itibaren araştırılmaya başlandığı gözlemlenmiştir. 2020 yılından itibaren araştırmaların 50' nin üzerine çıkarak yoğunlaştığı ve konunun önem kazandığı görülmektedir.



Şekil 2: Yıllara Göre Yayın Sayıları

Ülke Analizi

Ülke atıf analizi için minimum doküman sayısı 1 ve minimum atıf sayısı 1 seçildiğinde 57 ülkeden 53' ünün bu kriterleri sağladığı görülmüştür ve Şekil 3' teki harita oluşmuştur. En çok atıf yapılan ülkelerin çalışmaları incelendiğinde Çin' in 2020 yılından bu yana önemli bir alan kapladığı görülmektedir. Ayrıca yapılan analizde Kuzey Kore, Amerika, İngiltere, Hindistan ve Singapur'un da derin öğrenme yöntemleri ile motor imgeleme EEG sinyallerinin sınıflandırılması konusunda ilgili oldukları gözlemlenmektedir. Türkiye' de ise yayınlanan 7 çalışma olmasına rağmen atıf sayısı 580' dir.



Şekil 3: Ülkelerin Atf Sayısı Haritası

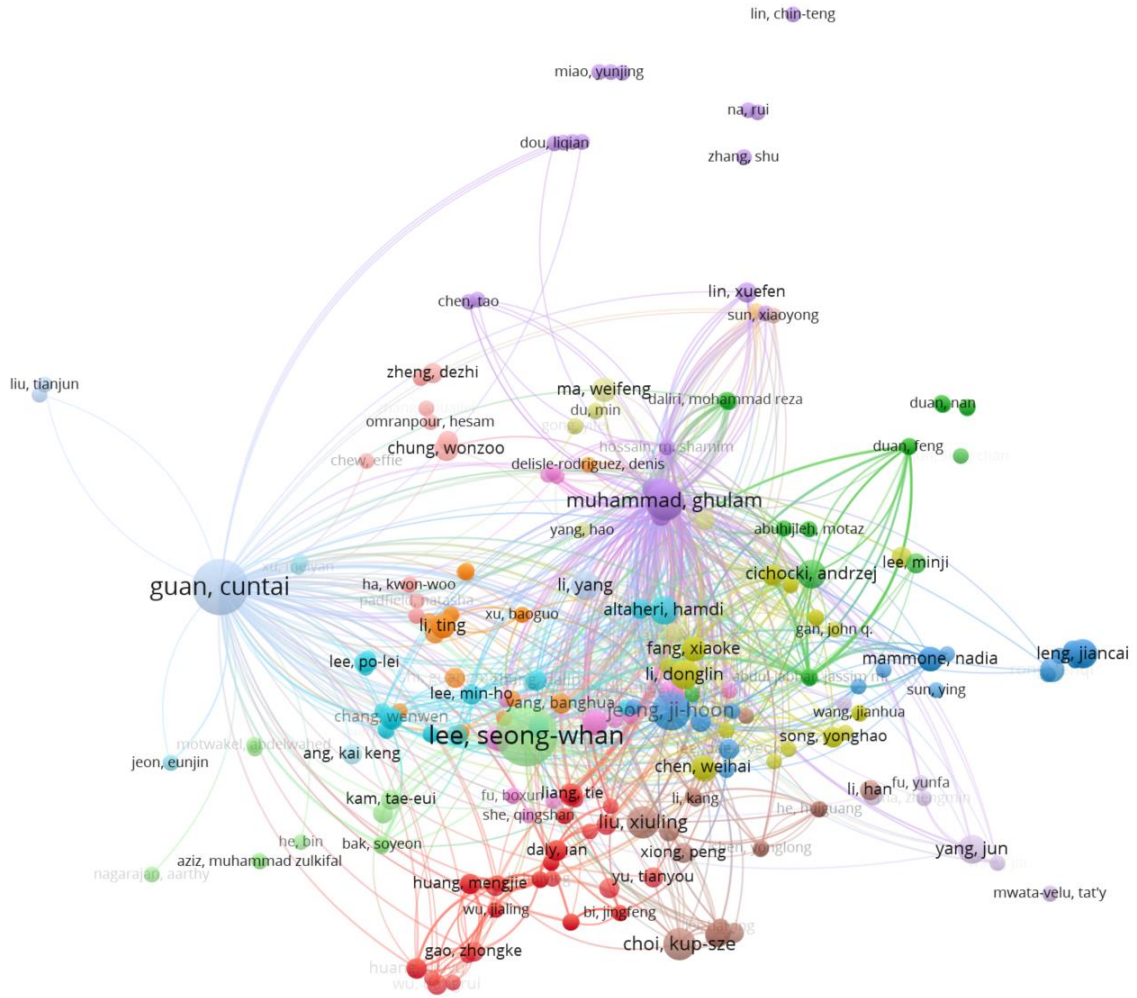
Yazar Analizi

Bu çalışma boyunca yapılan başka bir analiz ise yazarların atf analizidir. Bir yazar için alıntılanma sayısı minimum 1 ve bir yazarın minimum 2 çalışması olacak şekilde seçim yapılmış ve böylelikle 282 adet sonuç elde edilmiştir. Bu sonuçlardan ilk 15 yazar üzerinde analiz yapılmıştır. Atf analizi yapıldığında ise atf sayısı en yüksek dokümanların Lee Seong Whan, Guan Cuntai, Muhammad Ghulam ve Alsulaiman Mansour olduğu görülmektedir.

Tablo 1: Yazarların Yayın Sayısı, Atıf Sayısı ve Toplam Bağlantı Sayısı

Yazar	Yayın Sayısı	Atıf Sayısı	Toplam Bağlantı Sayısı
lee seong-whan	16	984	474
guan cuntai	14	886	571
muhammad ghulam	8	684	471
alsulaiman mansour	7	661	459
amin syed umar	5	593	403
yao lina	3	436	92
lee min-ho	3	433	139
zhang dalin	3	389	128
kwon o-yeon	2	379	88
hossain m. shamim	2	374	231
jeong, ji-hoon	8	314	260
bencherif, mohamed	3	306	205
lu,na	3	295	178
hamdi, altaheri	5	287	240
chen, kaixuan	2	284	86
fazli, siamac	2	265	53

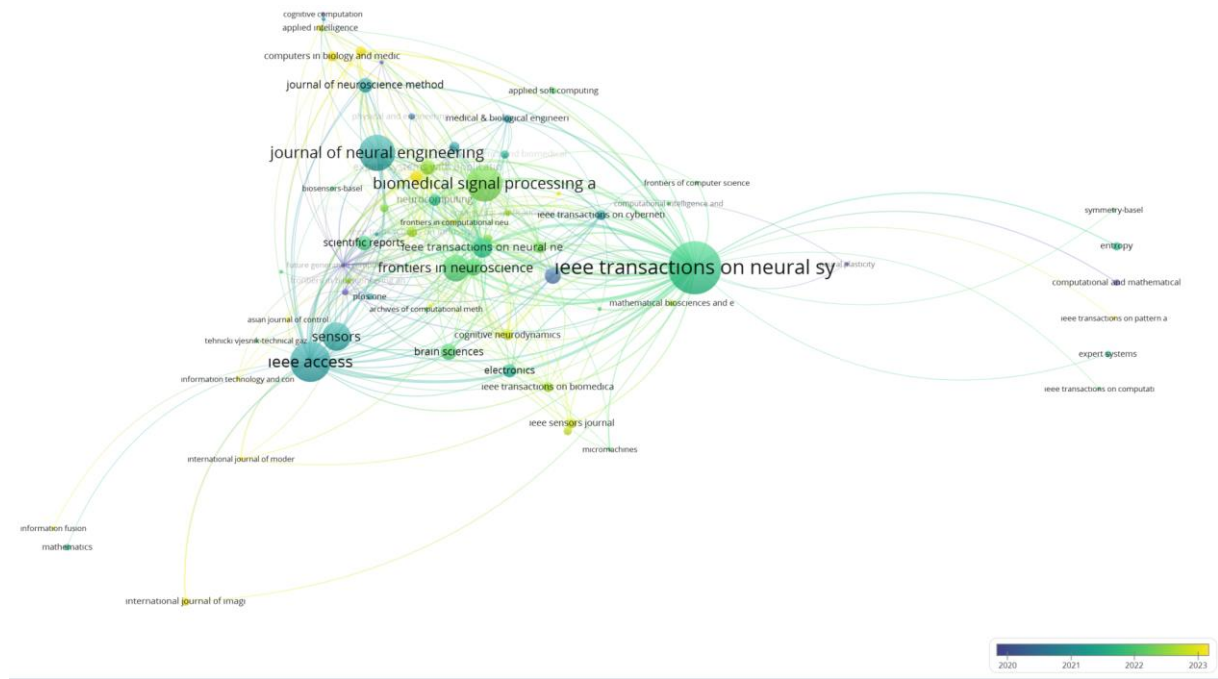
Şekil 4' te yazarlar bağlantı gücüne göre haritalanmaktadır. Görüldüğü üzere Lee Seong Whan, Guan Cuntai ve Jeong Ji Hoon derin öğrenme yöntemleri ile motor imgeleme EEG sinyallerinin sınıflandırılması konusunda en önde gelen araştırmacılarıdır.



Şekil 4: Yazarların Atıf Sayısı Haritası

Kaynak Analizi

Bir kaynağın minimum alıntılanma sayısı 1 ve minimum doküman sayısı 1 olacak şekilde analiz yapılmıştır. Toplam 73 kaynak bu kriterlere uymaktadır. Şekil 5’ te ısı haritası görülmektedir. Koyu mavi 2020 yılını, yeşil renk 2022 yılını, sarı renk ise 2023 yılını temsil etmektedir.



Şekil 5: Kaynakların Atıf Sayısı Zaman Haritası

Kategori Analizi

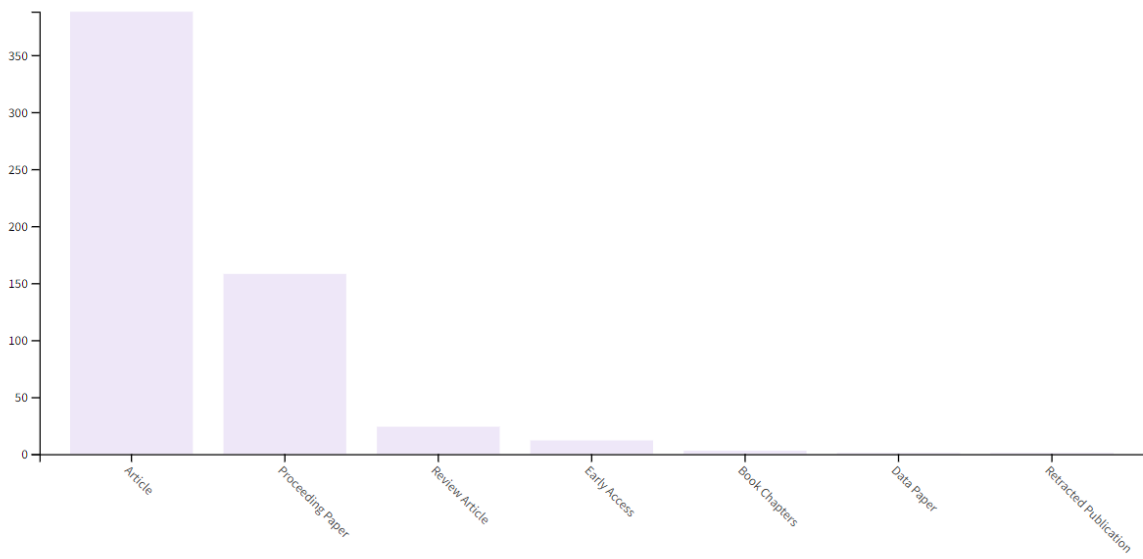
WOS üzerinden yapılan arama sonucundaki kategoriler incelendiğinde Biyomedikal Mühendisliği, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Yapay Zekâ Bilimi ve Bilgisayar Bilimi gibi kategorilerde yayınların yoğunlaştığı gözlemlenmiştir.



Şekil 6: Kategori Analiz Grafiği

Kaynak Türü Analizi

WOS veritabanından 09.05.2024 tarihinde “deep learning” ve “motor imagery eeg classification” kelimeleri ile filtreleme yapıldığında erişilen verilerin kaynak türlerine göre analizinde 569 çalışmanın %68’inin makale olduğu görülmektedir. Diğer çalışmalar ise sırasıyla %27 ve %4 olmak üzere konferans bildirisi ile derleme makale türündedir. Bu bilgiler bize derin öğrenme ile motor imgeleme konusunun akademik araştırmalarda önemli bir yer edindiğini göstermektedir.



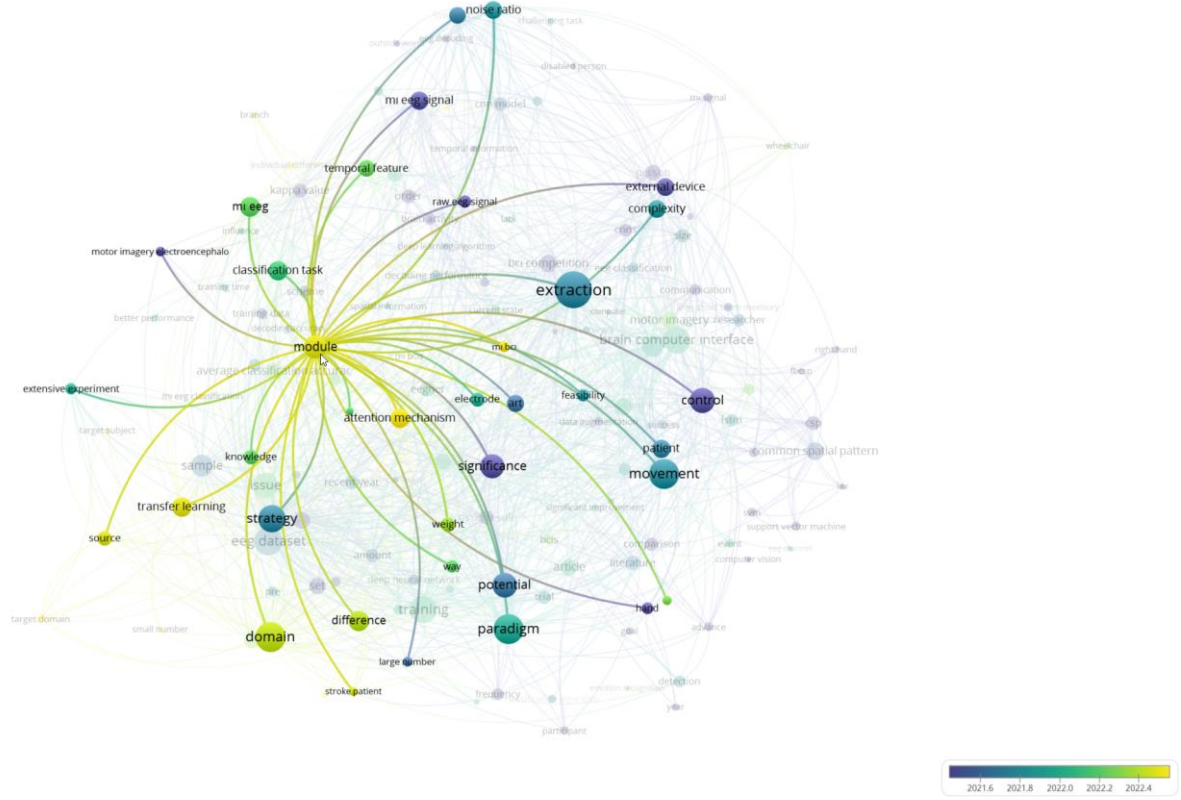
Şekil 7: Kaynakların Tür Grafiği

Kelime Analizi

Derin öğrenme yöntemleri ile motor imgeleme EEG sinyallerinin sınıflandırılması hakkındaki çalışmaların özet bölümlerinde yer alan kelimeler arasındaki ilişki Şekil 8’de gösterilmiştir. Veriler seçilirken atıf sayısı “10” ve üzerindeki yayınlar tercih edilmiş ve 8282 terimden 144’ünün kriterleri sağladığı tespit edilmiştir. Yıllara göre kelime yoğunlukları koyu renkten açık renge doğru ön plana çıkmaktadır. “Beyin Bilgisayar Arayüzü”, “Motor İmgeleme”, “EEG Veri seti”, “Hareket” ve “Modül” gibi kelimelerin yoğun olduğu gözlemlenmiştir. Son dönemde ise “Modül”, “Transfer Öğrenme”, “Kaynak” ve “Alan” gibi kelimelerin kullanımı artmıştır.



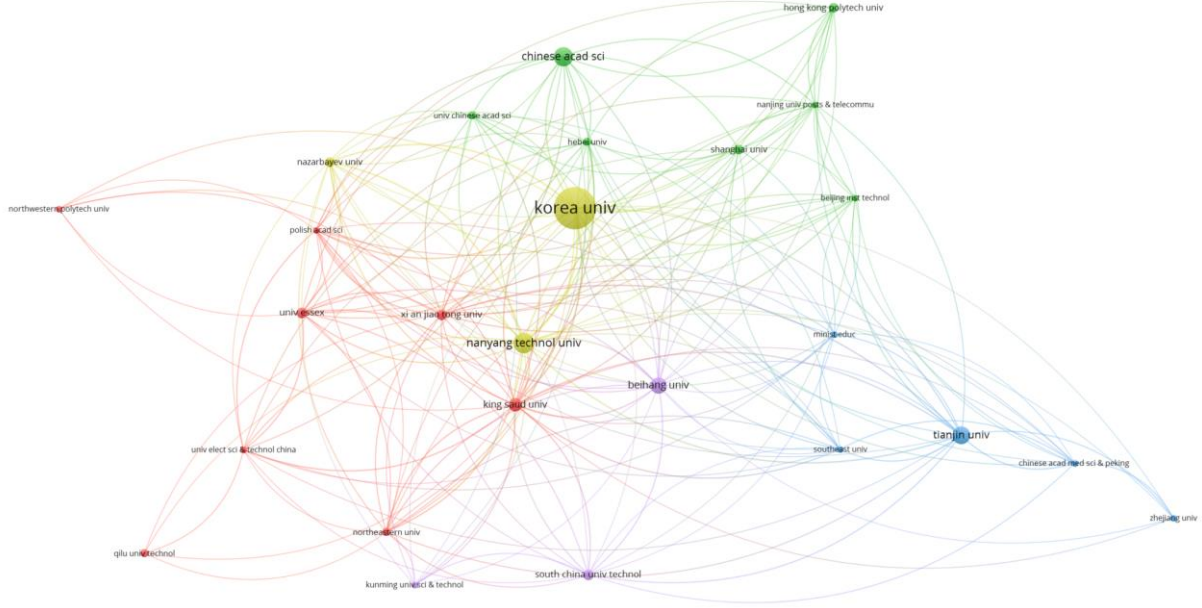
Şekil 8: En Sık Kullanılan Kelimelerin Isı Haritası



Şekil 9: En Sık Kullanılan Kelimelerin Zaman Haritası

Kurum Analizi

Çalışma kapsamında en çok atıf alan kurum haritalandırması Şekil 10' daki gibidir. Veriler seçilirken atıf sayısı "5" ve üzerindeki dokümanlar seçilmiş ve toplam 630 organizasyonun 26'sı bu kriterleri sağlamıştır. Yapılan analize göre kurumlar dört ana başlıkta kümelenmiştir. Korea University, Nanyang Technology University ve King Saud University en çok atıf alan ve temel kaynaklara sahip kurumlardır. Minist Education, Beijing Institutie Technology, Shangai University ve Zheijaing Universtiy kurumlarının ise son yıllarda güncel kaynaklara sahip oldukları gözlemlenmiştir.



Şekil 10: Kurumların Atıf Sayısı Haritası

Derin Öğrenme Yöntemi Analizi

Arama filtrelerine "CNN" veya "evrişimli sinir ağı" terimleri eklendiğinde, 162 yayına ulaşılmıştır. Bu, ilk veri setinin (n=387) yüzde 41'ini oluşturur, bu da alandaki çalışmalarda CNN'lerin öne çıkan bir rol oynadığını göstermektedir. Bu durum, motor imgeleme EEG sinyallerinin sınıflandırılmasında evrişimli sinir ağlarının önemli ölçüde dikkate alındığına işaret etmektedir.

SONUÇ

Yapılan çalışmada, motor imgeleme EEG sinyallerinin sınıflandırılmasında derin öğrenme tekniklerine odaklanan yayınların geniş çaplı bir bibliyometrik analizi gerçekleştirilmiştir. Buna göre, 2013 yılından itibaren bu konuda artan bir yayın eğilimi gözlemlenmiş ve 2020 yılı itibarıyla araştırmaların sayısında belirgin bir artış saptanmıştır. Çin, bu alanda en çok yayın yapan ve en çok atıf alan ülke olarak öne çıkmıştır. Ayrıca, Amerika Birleşik Devletleri, İngiltere, Hindistan, Singapur ve Türkiye de önemli katkılar sağlayan diğer ülkeler arasında yer almaktadır. Yayınların çoğunluğunun akademik makaleler olduğu ve konferans bildirileri ile derleme makalelerin de dikkate değer bir bölümü oluşturduğu görülmüştür. Bu, derin öğrenme ve motor imgeleme konularının bilimsel topluluklar arasında yüksek ilgi gördüğünü ve araştırma aktivitelerinin sürekli güncellendiğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada “derin öğrenme yöntemleri ile motor imgeleme EEG sinyallerinin sınıflandırılması” konusu holistik bir yaklaşım ile ele alınmıştır. Bu çalışmanın sağladığı içgörüler, alandaki en etkili yazarları ve kurumları belirlememizi sağlamış, ayrıca anahtar kelime ve kaynak türü analizleri aracılığıyla araştırma temalarının çeşitliliğini ve multidisipliner karakterini vurgulamıştır. Ayrıca ağ haritaları yoluyla ilgili konudaki alanyazın aydınlatılmıştır.

Sonuç olarak, bu bibliyometrik çalışma, motor imgeleme EEG sinyallerinin sınıflandırılmasında derin öğrenme tekniklerinin kullanımına dair kapsamlı bir anlayış sağlamış ve bu alandaki bilimsel gelişmeleri destekleyecek değerli bilgiler sunmuştur. Bu analizler, gelecekteki araştırmalar için stratejik bir rehberlik sağlayarak bir temel oluşturacaktır.

KAYNAKÇA

Al-Saegh, A., Dawwd, S. A., & Abdul-Jabbar, J. M. (2021). Deep learning for motor imagery EEG-based classification: A review. *Biomedical Signal Processing and Control*, 63, 102172.

Altaheri, H., Muhammad, G., Alsulaiman, M., Amin, S. U., Altuwaijri, G. A., Abdul, W., ... & Faisal, M. (2023). Deep learning techniques for classification of electroencephalogram (EEG) motor imagery (MI) signals: A review. *Neural Computing and Applications*, 35(20), 14681-14722.

Chen, X., Tao, X., Wang, F. L., & Xie, H. (2022). Global research on artificial intelligence-enhanced human electroencephalogram analysis. *Neural Computing and Applications*, 1-39.

Chen, X., Zhang, X., Xie, H., Tao, X., Wang, F. L., Xie, N., & Hao, T. (2021). A bibliometric and visual analysis of artificial intelligence technologies-enhanced brain MRI research. *Multimedia Tools and Applications*, 80, 17335-17363.

Dindorf, C., Bartaguiz, E., Gassmann, F., & Fröhlich, M. (2022). Conceptual structure and current trends in artificial intelligence, machine learning, and deep learning research in sports: a bibliometric review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(1), 173.

Gall, M., Nguyen, K.H., Cutter, S.L., (2015). Integrated research on disaster risk: is it really integrated. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 12, 255–267

Jia, X., Dai, T., Guo, X., (2014). Comprehensive exploration of urban health by bibliometric analysis: 35 years and 11,299 articles. *Scientometrics* 99, 881–894.

Li, J., Hale, A., (2016). Output distributions and topic maps of safety related journals. *Saf. Sci.* 82, 236–244.

Li, W., Zhao, Y., (2015). Bibliometric analysis of global environmental assessment research in a 20-year period. *Environ. Impact Assess. Rev.* 50, 158–166.

Tsiamalou, A., Dardiotis, E., Paterakis, K., Fotakopoulos, G., Liampas, I., Sgantzos, M., ... & Brotis, A. G. (2022). EEG in neurorehabilitation: a bibliometric analysis and content review. *Neurology International*, 14(4), 1046-1061.

Wang, B., Pan, SY., Ke, RY. et al, (2014). An overview of climate change vulnerability: a bibliometric analysis based on Web of Science database. *Nat Hazards* 74, 1649–1666

Yang, L., Chen, Z., Liu, T., Gong, Z., Yu, Y., Wang, J., (2013). Global trends of solid waste research from 1997 to 2011 by using bibliometric analysis. *Scientometrics* 96, 133–146.

Zhang, J. (2019). Basic neural units of the brain: neurons, synapses and action potential. arXiv preprint arXiv:1906.01703.

Zhang, S., Wang, S., Liu, R., Dong, H., Zhang, X., & Tai, X. (2022). A bibliometric analysis of research trends of artificial intelligence in the treatment of autistic spectrum disorders. *Frontiers in Psychiatry*, 13, 967074.