



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 06.04.2024
Kabul Tarihi : 13.06.2024

Received Date : 06.04.2024
Accepted Date : 13.06.2024

MOTION CAPTURE TEKNOLOJİLERİ ÜZERİNE BİBLİYOMETRİK BİR ARAŞTIRMA

A BIBLIOMETRIC STUDY ON MOTION CAPTURE TECHNOLOGIES

Gülseren DİNVAR PEKŞEN^{1*} (ORCID: 0000-0002-5147-3014)
Tolga BARMAN² (ORCID: 0000-0001-7938-5780)

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Radyo, Televizyon ve Sinema Bölümü, Çanakkale, Türkiye
² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Radyo, Televizyon ve Sinema Bölümü, Çanakkale, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Gülseren DİNVAR PEKŞEN, gulseren.dinvar@comu.edu.tr

ÖZET

İnsan ve obje hareketlerinin gerçekçi bir şekilde kamera ve sensörler yardımıyla 3D hareket verilerine dönüştürülmesini sağlayan sisteme "motion capture" teknolojisi denilmektedir. Bu teknoloji askeri alandan tıbbı, sinema ve dijital oyun gibi eğlence endüstrilerine kadar çok geniş bir alanda kullanılmaktadır. Bu çalışma, 2014-2024 yılları arasında Scopus veri tabanından elde edilen motion capture teknolojisi konu alan çalışmaların bibliyometrik ve betimsel analizini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda Scopus' ta 10 yıllık araştırma aralığında konu başlığı olarak "motion capture" teknolojisi araştıran 1938 makaleye ulaşılmıştır. 1938 makalenin bibliyometrik verileri analiz edilmiş ve tablolar aracılığıyla görselleştirilmiştir. Bulgulara göre; motion capture üzerine yazılan 1938 çalışmanın 90 farklı ülkenin araştırmacıları tarafından üretildiği saptanmıştır. Bu çalışmada sinema, reklam ve dijital oyun endüstrisi gibi eğlence sektörü tarafından kullanıldığı varsayılan motion capture teknolojisinin literatürdeki yaygın çalışma alanlarının çok daha geniş bir alana yayıldığı gözlemlenmiştir. Araştırma bulgularına göre; 1938 makalenin %27,6 gibi büyük bir oranı bilgisayar bilimleri, %23,1 mühendislik, % 8,3 tıp, %6,9 fen bilimleri, %4,5 oranında sosyal, sanat ve beşerî bilimler alanların da üretildiği tespit edilmiştir. Çalışma bulguları göstermektedir ki; motion capture teknolojileri yakın gelecekte gündelik hayatın hemen her alanında, insan hayatına adapte bir araç olacaktır. Bilimsel çalışmalar da bu doğrultuda gelişim göstermelidir.

Anahtar Kelimeler: Hareket yakalama, sensör, bibliyometrik, biyomekanik, sanal gerçeklik.

ABSTRACT

The system that allows human and object movements to be realistically converted into 3D motion data with the help of cameras and sensors is called motion capture technology. This technology is used in a wide range of fields, from the military to medicine to the entertainment industries such as cinema and digital game. This study aims to present a bibliometric and descriptive analysis of the studies on motion capture technology obtained from the Scopus database between 2014-2024. 1938 articles were found in Scopus, which investigated "motion capture" technology as a subject title in a 10-year research interval. The bibliometric data of 1938 articles were analyzed and visualized in tables. It was determined that 1938 studies on "motion capture" were produced by researchers from 90 different countries. In this research, it has been observed that motion capture technology, which is assumed to be used by the entertainment sector such as cinema, advertising and digital game industry, has a much wider range of fields of study in the literature. According to the findings of the research, it was determined that 27.6% of the 1938 articles were produced in computer sciences, 23.1% in engineering, 8.3% in medicine, 6.9% in natural sciences, and 4.5% in social sciences, arts and humanities. The study shows that motion capture technologies will be a tool adapted to human life in almost every field of daily life in the near future. Scientific studies should also develop in this direction.

Keywords: Motion capture, sensor, bibliometric, biomechanics, virtual reality.

To Cite: DİNVAR PEKŞEN, G., & BARMAN, T., (2024). MOTION CAPTURE TEKNOLOJİLERİ ÜZERİNE BİBLİYOMETRİK BİR ARAŞTIRMA. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(3), 1102-1116.

GİRİŞ

İnsan ve obje hareketlerinin gerçekçi bir şekilde kamera ve sensörler yardımıyla 3D animasyona dönüştürülmesini sağlayan teknoloji; Motion Capture/ MoCap/ Hareket Yakalama olarak ifade edilmektedir. Bu teknoloji mühendislik alanlarından, askeri alana, sağlık sektörüne, sinema ve dijital oyun gibi eğlence endüstrilerine kadar çok geniş bir alanda kullanılmaktadır. Kökeni 19. yüzyılın sonlarına doğru insan ve hayvan hareketlerini incelemek için kronofotografik çalışmalar yapan iki öncü fotoğrafçı Eadweard Muybridge ve Etienne-Jules Marey'e kadar dayanmakta olan "motion capture" teknolojisi, günümüzde çok çeşitli alanlarda kullanılmaya ve gelişmeye devam etmektedir (Delbridge, 2015).

Motion Capture sistemleri teknolojik alandaki gelişmelere paralel olarak; özellikle mühendislik alanındaki yeni teknik çalışmalarla günden güne çeşitlenmektedir. Bu çeşitlenme hem sistemlerin farklılaşmasına hem de farklı alanlarda kullanım alanlarının çoğalmasına ve çeşitlenmesine neden olmaktadır. Günümüzde motion capture; mühendislik, sağlık, sinema endüstrisi, oyun, spor, biyokimya, tasarım ve askeri alanlarda dâhil olmak üzere çeşitli alanlarda pratik karşılığı bulunan, gelişmeye ve kullanım alanlarını çeşitlendirmeye devam eden bir teknolojidir.

Bu çalışmanın ana amacı; 2014-2024 yılları arasında Scopus veri tabanında listelenen "motion capture" başlığına ilişkin bilimsel çalışmaları nicelik ve nitelik bakımından incelemek ve alana ilişkin bibliyometrik gözlem veri setlerini görsel ve betimsel olarak paylaşmaktır. Çalışmanın ana problemi; motion capture teknolojisinin bilimsel alanda hangi trendleri takip etmekte olduğu, ne yönde ilerleme kaydettiği, bilimsel alanda nasıl, hangi dikkatlerle incelenmekte olduğudur. Çalışmada bibliyometrik yöntem başvurulacaktır. Bibliyometrik yöntem, kayıtlı bilginin özelliklerinin ve eğilimlerinin incelenmesinde, bilimsel çalışmaların sayısal verilerine ve grafiksel yorumuna dayanan nicel bir araştırma yöntemidir (Patra, Bhattacharya & Verma, 2006). Son yıllarda akademik çalışmalarda literatürü ve alandaki gelişmeleri gözlemlemek adına sıkça başvuru yapılan bibliyometri, araştırmacılara konuya dair güçlü gözlem yapabilmeye imkân tanıyan etkili bir araştırma tekniğidir. Bu çalışma özelinde de disiplinler arası çalışmaların daha yoğun olarak indexlendiği Scopus veri tabanı, veri toplama alanı olarak belirlenmiş ve yayınların yoğunlaştığı son 10 yıllık dönem araştırma aralığına odaklanılmıştır. Çalışma; 1 Ocak 2014 ve 6 Şubat 2024 yılları arasında Scopus veri tabanında listelenen "motion capture" anahtar kelimesi doğrultusunda bulguların 1938 bilimsel araştırma makalesini kapsamaktadır. Scopus veri tabanından elde edilen 1938 makalenin bibliyometrik veri setleri, VOSviewer 1.6.20 yazılımı kullanılarak incelenmiş ve bibliyometrik tablolar aracılığıyla görselleştirilmiştir.

Çalışmada, disiplinler arası bir çalışma alanı olan motion capture teknolojisine ilişkin; hangi disiplinin ne türde çalışmalar üreterek öne çıkmakta olduğu, hangi disiplinin/disiplinlerin bilimsel olarak geride kaldığına ilişkin veri setlerine odaklanılmaktadır. MoCap gibi bilgisayar ve mühendislik teknolojilerine dayanan sistemler konusunda öncü olan ülkelerin, teknolojik alandaki başarılarını bilimsel alana ne ölçüde aktarabildiklerine dair bilimsel yayıncılık faaliyetleri incelenmektedir. Bu bağlamda çalışmada; ülkelerin, yazarların, organizasyonların akademik performanslarına, üretim ilişkilerine, ortaklıklarına, istikrarlarına ilişkin; çeşitli veriler, grafikler ve görsel haritalar halinde bilgiler paylaşılmaktadır. Araştırma bulguları; teknik ve teknolojik alanda motion capture teknolojisine ilişkin akademik literatürün nasıl ve ne yönde çerçevelenmekte olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca çalışma bulguları ve sonuçları, farklı disiplinlere ilişkin literatürdeki boşlukları açığa çıkarmakta ve yeni araştırmaların geliştirilmesine de imkân tanımaktadır. Çalışma verilerinin bibliyometrik yöntem aracılığıyla değerlendirilmesi ve yıllara, yazar(lara), ülkelere, atıf oranlarına, en sık kullanılan anahtar kelimelere göre bulut kümelerine ayrılarak görselleştirilmesi, alana ilişkin derli toplu bir gözlem alanı oluşturacaktır. Dolayısıyla çıktılar bakımından araştırma, diğer araştırmacılar için literatürdeki genel yönelimlere dair nicel bir kaynak verisi anlamına da gelmektedir. Bu yönüyle de ulusal uluslararası bilimsel yayıncılık faaliyetlerine ilişkin önemli bir katkı sağlama potansiyeline sahiptir. Literatürdeki genel yönelimleri, veri setlerinin arasındaki ilişkileri, yeni araştırma alanlarını krono-mantıksal olarak da gruplandıran bu sistematik yöntem sayesinde, alandaki gelişmeler izlenebilir ve ihmal edilen, zayıf bırakılan boşluklar deşifre edilebilir. Bu bakımdan çalışmada farklı yazarlar, ülkeler, dergiler, organizasyonlar tarafından motion capture teknolojisine ilişkin hangi dikkatler üzerinden, ne yönde tartışılmakta olduğunun tespit edilmesi, alanlardaki boşlukların giderilmesi bakımından son derece önemlidir.

KAPSAM: MOTION CAPTURE TEKNOLOJİSİ

Günümüzdeki tanımı ile motion capture (hareket yakalama/ MoCap) teknolojisi, canlı ya da cansız olması fark etmeksizin bir özne ya da nesnenin hareketinin 3 boyutlu veriler halinde dijital bir ortama kaydedilmesi işlemidir (Kitagawa & Windsor, 2008; Menache, 2011; Delbridge, 2015; Rossney, 2022). Yakalanan bu hareketler ile gerçeğe

yakın fiziksel davranışlar sergileyen animasyon karakterleri oluşturulması amaçlanmaktadır. Hareket, dijital olarak 360 derece olarak kaydedilerek ekran tabanlı 3D uzayda bir animasyon modeline aktarılmaktadır (Delbridge, 2015). Motion capture teknolojileri sensör türüne (optik ve optik olmayan), sensör tipine (aktif ve pasif), kullanılan aktarma mekanizmalarına (manyetik, mekanik ve ataletsel), bağlantı durumlarına (çevrimiçi ve çevrimdışı) göre farklı şekillerde sınıflandırılabilirler. Bu sınıflandırmalar genellikle birbirlerini de kapsayan kümelerden oluşmaktadır. İşaretleyici tabanlı hareket yakalamanın bazı popüler yöntemleri; akustik sistem (acoustical system), mekanik sistem (mechanical system), manyetik sistem (magnetic system), optik sistem (optical system) olarak sıralanabilir (Erdem, 2021). Genel literatür tanımlamalara bakıldığında ise bu teknolojilerin çoğu zaman optik (optical) ve optik olmayan (non-optical) sistemler olarak iki ana başlık altında incelenmekte olduğu gözlemlenmektedir. Diğer teknolojik farklılıkların da bu başlıklar altında farklı alt kategoriler ile birbirlerinden ayrıldığı görülmektedir ancak bu konuda yapılan araştırmalarda tam anlamıyla bir fikir birliği oluşmuş değildir. Örneğin; Dower & Langdale (2022) motion capture teknolojilerini; optik (optical), ataletsel (inertial) ve işaretleyicisiz (markerless) motion capture sistemleri olmak üzere üç ana türe ayırırken, Galantucci ve diğerleri (2010) optik ve optik olmayan motion capture sistemleri olarak iki ayırmış; işaretleyicisiz (markerless) sistemleri optik (optical), ataletsel (inertial) sistemleri ise optik olmayan (non-optical) sistemlerin birer alt kategorisi olarak değerlendirmiştir. Herda vd. (2000) ise, bağlantı durumlarına göre motion capture sistemlerini, çevrimiçi (online) ve çevrimdışı (offline) olmak üzere ikiye ayırmıştır. Çevrimiçi motion capture sistemleri, çoğunlukla manyetik sensörler kullanan, hareketi yakalanan özne veya nesneden oluşturulan bir sanal iskeleti gerçek zamanlı olarak sunabilen sistemlerdir. Buna rağmen veri çıktılarının kalitesi ve sensörlerin daha hantal olması sebebiyle bu sistemler ile yüksek kalitede hareketlerin yakalanması zorlaşmaktadır. Çevrimdışı motion capture sistemleri ise genellikle kızılötesi aracılığıyla birden fazla kamera görüntüsünden optik hareket yakalamaya dayanmaktadır. Hareketin yakalanması ve yakalanan hareketin görselleştirilmesi için iki aşamalı bir süreç gerekmektedir. Çevrimiçi sistemlere göre daha uzun bir sürece sahip olsa da daha karmaşık ve gerçekçi hareketlerin kaydedilmesi için bu sistemler tercih edilmektedir.

Optik motion capture sistemleri, MoCap aktörünün iskelet ve eklem verilerini, kızılötesi senkronize kameralar aracılığı ile algılayıp, 3 boyutlu uzayda, kartezyen koordinat dizileri biçiminde dijital verilere dönüştüren sistemlerdir (Guerra Filho, 2005; Dower & Langdale, 2022). Sistem, işaretleyicili (marker-based) ve işaretleyicisiz (markerless) optik sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır. İşaretleyici optik kullanan sistemler, aktörün vücudunun eklem konumlarına veya özel noktalarına kameraların algılayacağı işaretleyicilerin yerleştirilmesi ve bu işaretleyicilerden alınan verilerin bilgisayara aktarılması şeklinde bir yapı ile çalışmaktadır (Guerra Filho, 2005). Bu işaretleyiciler pasif veya aktif özellikte olabilmektedirler. Pasif işaretleyiciler yansıtıcı malzemelerden yapılan ve ışığın yansımaya bağlı olarak kameralar tarafından algılanan bir yapıdadır (Kitagawa & Windsor, 2008). Aktif işaretleyiciler ise genellikle sensörlerin duyarlı olduğu kızılötesi spektrumda ışık kaynağı içeren ve donanım tarafından gerçek zamanlı olarak algılanan bir yapıdadır (Van der Kruk & Reijne, 2018). İşaretsiz optik motion capture sistemleri ise aktörün hareketlerinin yakalanması için özel bir kostüm giymelerini gerektirmeyen, bilgisayarla görü algoritmalarını kullanan bir teknoloji türüdür (Nogueira, 2011). Bu algoritmaların oluşturulması sürecinden aktörün silüeti ve vücudunun ana hatları bir işaretleyiciye gerek duyulmadan veriye dönüştürülmektedir (Guerra Filho, 2005). Bu sistemler, işaretleyici ihtiyacını ortadan kaldırması, aktörün hazırlık sürecini azaltması, iskelet sistemi harici hareket verilerini algılama konusundaki başarısı açısından önemli avantajları beraberinde getirmektedir (Corazza vd., 2006). Optik sistemler, hareket verilerini yüksek bir doğruluk derecesi ile yakaladığı için filmler, video oyunları, sanal gerçeklik uygulamaları gibi yüksek ayrıntı ve gerçekçilik beklenen alanlarda tercih edilmektedir. Sistemin dezavantajları arasında yüksek hesaplama maliyetine gereksinim duyabilmesi, işaretleyicilerin birbirlerini perdeleyerek verilerin sağlıklı bir şekilde kaydedilememesi ihtimali ve işaretleyicilerin kaybedilebilmesi sayılabilir (Guerra Filho, 2005).

Motion capture teknolojisinin bir diğer ana türü olan optik olmayan (non-optical) motion capture sistemleri ise manyetik, mekanik ve ataletsel sistemler olarak alt kategorilere ayrılmaktadır. Manyetik motion capture sistemleri, optik sistemler yerine elektromanyetik sensörlerin aktörün vücuduna yerleştirilmesi ile hareket verisini alan sistemlerdir (O'Brien vd., 2000). Bu sistem çok fazla kablo barındırdığı için hareketin kısıtlanabilmesi dezavantajına sahiptir. Buna karşın 3 boyutlu gerçek zamanlı veriyi düşük işlem maliyeti ile işleyebilmesi nedeniyle tercih edilmektedir (Guerra Filho, 2005). Mekanik motion capture sistemleri ise transdüser ve potansiyometrelerden oluşan özel eklemli bir giysi aracılığı ile çalışan sistemlerdir. Buna karşın giysilerin kısıtlayıcı yapısı nedeniyle yüksek serbestlik gerektiren hareketlerin yapılması mümkün olmamaktadır. Ayrıca kırılabilir olması, sensörlerin sabit konfigürasyona sahip olması ve düşük örnekleme oranı mekanik sistemlerin dezavantajlarındandır (Kitagawa & Windsor, 2008). Ataletsel (inertial) motion capture sistemleri ise, bir özne ya da nesnenin hareket hızını, ivmesini veya yönünü ölçmek için jiroskop, manyetometre ve ivmeölçer ölçüm birimlerinin kullanılmasını içeren hareket

sistemleridir. Sensörler, özne ya da nesnenin iskeletindeki kilit noktalara yerleştirilir ve ataletsel hareket verileri kablosuz olarak bir bilgisayara aktarılır. Bu sistem optik sistemlerdeki belirli bir alanda bulunma kısıtlılığını ortadan kaldırır ancak manyetik alanlar nedeniyle oluşabilecek potansiyel parazitlere maruz kalınabilir (Dower & Langdale, 2022). Giyilen özel eklemli giysi sayesinde aktörün hareketlerinin açıl değerleri doğrudan bilgisayar verilerine dönüştürülmektedir. Gerçek zamanlı veri işlenebilmesi, düşük işlem maliyeti, manyetik veya elektrik parazitlerine maruz kalmaması ve taşınabilir olması sebebiyle tercih edilebilmektedirler. Ancak birebir uyumu yakalamak ve bilgisayara aktarmak konusunda mevcut bazı handikaplı durumlar, sorunlar geride bırakılabilmiş değildir. Öte yandan Vicon, Optitrack, Qualisys gibi optik tabanlı, iPi Soft, Perception Neuron, Xsens gibi optik tabanlı olmayan hareket yakalama yazılım şirketleri; pek çok alanda sektörel beklentilere cevap vermeyi başaran firmalar arasındadır. Son yıllarda yapay zekanın gelişmesi ile hareket yakalama yazılım şirketleri de yapay zekâ destekli teknolojileri kendi üretimlerine entegre etmeye başlamışlardır. Deepmotion, Wonder Dynamics, Rokoko Vision, Move AI, Plask Motion gibi yapay zekâ destekli hareket yakalama sistemleri kullanıcı dostu alternatif çözümler sunmaya ve teknolojiyi geliştirmeye devam etmektedir.

Motion Capture Teknolojisinin Gelişimi ve Kullanım Alanları

Hareket yakalamanın tarihi, 19. yüzyılın sonlarına doğru insan ve hayvan hareketlerini incelemek için kronofotografik çalışmalar yapan iki öncü fotoğrafçı Eadweard Muybridge ve Etienne-Jules Marey'e kadar dayanmaktadır (Delbridge, 2015). Muybridge'in 1878-1879 yılları arasında gerçekleştirmiş olduğu "The Attitudes of Animals in Motion" [Hareket Halindeki Hayvanların Davranışları] serisi ve Marey'in 1882 yılında Fusil Photographique adını verdiği, saniyenin 720'de 1'i oranında bir hızla 12'şer adet fotoğraf çekebilen tüfek benzeri fotoğraf makinesi ile kuşlar üzerine yaptığı "Flight of The Birds According To The Instantaneous Photographs of Mr. Marey" [Bay Marey'in Anlık Fotoğraflarına Göre Kuşların Uçuşu] çalışması fotoğrafçılık bağlamında ilk hareket yakalama çalışmalarına örnek olarak verilebilir. Marey, 1878 yılından itibaren gerçekleştirdiği çalışmalar ile geliştirdiği "grafik yöntem" ile bedensel hareketin sürekli grafikler, çizelgeler ve geometrik diyagramlar olarak kaydedilmesini sağlamış ve bu da filmler, video oyunları, biyomekanik, klinik tıp gibi alanlarda kullanılan "Motion Capture ya da MoCap" olarak adlandırılan hareket yakalama teknolojisinin temelini oluşturmuştur (Paterson, 2021). Bu temel, 1915 yılında karikatürist Max Fleischer tarafından icat edilen, hareketlerin animasyon karakterlere gerçekçi bir şekilde aktarılmasını sağlayan rotoskop yöntemi ile pekiştirilmiştir (Menache, 2011).

1962 yılına gelindiğinde Lee Harrison III, Animac isimli analog grafik animasyon üretebilen bir bilgisayar icat etmiştir. Harrison'un, 1960'ların sonlarına doğru, bu bilgisayar üzerinden Computer Image Corporation ile geliştirdiği Scanimate sistemi, bir nesnenin ya da bir insanın hareketlerinin gerçek zamanlı olarak kaydedilmesi ve animasyonlar içinde kullanılmasına olanak sağlamıştır. Motion capture teknolojisinin basit bir öncülü olarak adlandırılacak bu teknoloji, Harrison'a 1972 yılında Emmy ödülü kazandırmıştır (Sturman, 1998; Auslander, 2017).

1970'lerde motion capture teknolojisi askeri alanda da kullanılmaya başlanmıştır. ABD ordusu özel bir fon ayırarak, pilotların baş hareketlerini takip etmek amacıyla manyetik izleme cihazları geliştirmiştir. Bu izleme cihazları ilerleyen yıllarda teknolojinin belirleyici altyapılarından bir tanesine dönüşmüştür. 1990'larda animasyonlar için kullanılan motion capture teknolojisinin temeli bu çalışma üzerinden şekillenmiştir (Delaney, 1998). Bununla birlikte 1970'li yılların sonundan başlayarak, özellikle 1980'lerin ortasına değin zirve noktasına ulaşan analog grafik animasyondan dijital grafik animasyona geçiş süreci, motion capture teknolojisinin de günümüzdeki tanımı ile adlandırılmasına neden olmuştur.

1970'lerin ortasında Myron Krueger tarafından Connecticut Üniversitesi'nde geliştirilen "Videoplace" ile artırılmış gerçeklik çalışması yapılmıştır. Krueger, bir katılımcının canlı video görüntüsünü bilgisayar grafikleriyle birleştirmiştir. Bir kamera yardımı ile bilgisayar grafiklerini, katılımcının hareketlerine gerçek zamanlı olarak tepki verebilecek şekilde düzenleyen Krueger, bilgisayar grafikleriyle gerçek insan bedenini etkileşime sokan ilk çalışmalardan bir tanesine imza atmıştır (Krueger ve diğerleri, 1985). 1983 yılında, MIT Görsel Çalışmalar alanında yüksek lisans yapan Delle Rae Maxwell, aynı üniversitenin Bilgisayar Bilimleri ve Elektrik Mühendisliği öğrencisi Carol Ginsberg ile tasarladıkları "Graphical Marionette" ile hareket yakalama teknolojileri adına önemli bir çalışma ortaya koymuşlardır. Maxwell, bu çalışmayı "Graphical Marionette: A Modern-Day Pinocchio" [Grafik Kukla: Günümüz Pinokyosu] başlığıyla yüksek lisans tezi olarak sunmuştur. Maxwell tezinde (1983), Graphical Marionette sistemini; "tam vücut takibi yoluyla insan hareketinin ince dinamiklerini yakalamaya odaklanan, bilgisayara girilen çeşitli girdilerle canlandırılan "grafik kuklalar" tasarlamaya yönelik bir prototip sistem" olarak tanımlamıştır. Graphical Marionette Sistemi; vücudu bir veri yapısı olarak soyutlamakta ve bir şablon dosyasına dönüştürüp, hareket

verilerini animasyon için sistematik bir forma karşılık gelecek şekilde bedenle eşleştirmektedir. Graphical Marionette Sistemi modern anlamda motion capture teknolojisi için çok önemli bir adım olsa da özellikle dönemin bilgisayarlarının yeterince hızlı olmaması motion capture teknolojisinin gelişmesinde önemli bir engel oluşturmuştur. Bu ve benzeri tarzda ilerleyen sistemler 1988 yılında çıkan Silicon Graphics 4D bilgisayarlarına kadar çok tekil örnekler verebilmiş; teknik altyapının yeterliliği nedeniyle hızlı bir ilerleme ve gelişim gösterememiştir (Sturman,1998).

1985 Super Bowl XIX finalinde yer alan ve Robert Abel and Associates tarafından yapılan bir konserve yiyecek reklamı olan “Brilliance” motion capture teknolojisinin ticari anlamda başarılı bir şekilde kullanıldığı ilk örnek olarak karşımıza çıkmaktadır. Gerçek insan gibi hareket eden bir kadın robotun 3 boyutlu animasyon olarak gösterildiği bu reklam filmi, ticari motion capture endüstrisinin başlangıç noktası olmuştur (Delbridge, 2015; Menache, 2011). Bu noktadan itibaren hem oyun hem de film endüstrisi, bu teknolojinin kendi alanlarında etkili bir biçimde kullanılabileceğini öngörmüştür.1989 yılında Apple II platformu için geliştirdiği “Prince of Persia” [Pers Prensi] oyunu ile Jordan Mechner, VHS kasetlere çektiği kardeşi David Mechner’in hareketlerini rotoskop yöntemi ile oyunundaki karaktere aktarması ile hareket yakalamanın oyunlarda kullanımının öncül örneklerinden bir tanesini verebilmiştir (Mechner, 2023). 1994 yılına gelindiğinde ise Sega tarafından geliştirilen “Virtua Fighter 2” [Sanal Dövüşçü 2] ve Time Warner Interactive tarafından geliştirilen “Rise of the Robots” [Robotların Yükselişi] dövüş oyunları optik tabanlı motion capture teknolojisini kullanarak karakter hareketlerini oluşturan ilk örneklerden olmuşlardır (Kitagawa & Windsor, 2008; Paterson, 2021; Baker, 2020).

Film endüstrisi de oyun endüstrisi ile paralel bir gelişim sürecini takip etmiştir. 1990 yapımı “Total Recall” [Gerçeğe Çağrı] filminde bazı görsel animasyonlar yarı otomatik rotoskop yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Bregler, 2007). Bu gelişme, endüstride gelişmekte olan bilgisayar destekli görüntü üretimi CGI (computer generated imagery) teknolojisi alanını da tetiklemiş, motion capture teknolojisinin birlikte gelişmesine olanak sağlamıştır.1990’ların sonu ile 2000’lerin başı, motion capture teknolojisinin film endüstrisi alanında tam anlamıyla benimsendiği yıllardır. Milenyumun hemen öncesinde 1999 yapımı “Star Wars: Episode I Phantom Menace” [Yıldız Savaşları: Bölüm I Gizli Tehlike] filminde yer alan Jar Jar Binks karakteri, optik tabanlı motion capture teknolojisi kullanılarak yapılan, ana cast olarak filmde yer alan ilk tam eklemlili insansı aktördür. Hemen akabinde 2001-2003 yılları arasında gösterime girmiş olan “The Lord of the Rings” [Yüzüklerin Efendisi] üçlemesinde yer alan Gollum karakteri de yine benzer şekilde MoCap teknolojisi ile oluşturulmuştur. Tam eklemlili insansı aktöre Gollum karakteri de önemli bir örnek niteliğindedir. (Parent vd., 2010). Bunlara ek olarak, 2000 yapımı “Sinbad: Beyond the Veils of Mist” [Sinbad: Sis Perdesinin Ötesinde] animasyon filmi motion capture teknolojisinin bir filmin yapım sürecinin ana teknolojisi olarak kullanılması açısından önemli bir noktada yer almaktadır (Baker, 2020). Bu film ile motion capture teknolojisi özellikle animasyon filmlerde ana teknolojilerden bir tanesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yönetmen Robert Zemeckis’in üstlenmekte olduğu 2004 yapımı “The Polar Express” [Kutup Ekspres] animasyon filmi örnek olarak verilebilir (Menache, 2011). Bu örnekler film endüstrisinde MoCap aktörlüğü denilen yeni bir iş kolunun ortaya çıkmasına da sebep olmuştur. Hareketi yakalama sisteminde gerçek insan hareketi akıcı ve doğal olduğu için, oyuncular bilinçli olarak geleneksel animasyon gibi performans göstermezlerse donuk bir oyunculuk söz konusu olmaktadır (Kitagawa & Windsor, 2008). Dolayısıyla sinema sanatının gelişmesine paralel olarak gelişim gösteren; kamera önü oyunculuk, sinematik oyunculuk gibi MoCap oyunculuğu da alanda tartışılmaya ve gelişmeye başladığı bu çalışma verilerinde de gözlemlenmiştir.

Motion capture (MoCap) sistemleri teknolojik alandaki gelişmelere paralel olarak; özellikle mühendislik alanındaki yeni teknik çalışmalarla günden güne çeşitlenmektedir. Bu çeşitlenme hem sistemlerin farklılaşmasına hem de farklı alanlarda kullanım alanlarının çoğalmasına ve çeşitlenmesine neden olmaktadır. Günümüzde motion capture; mühendislik, sağlık, sinema endüstrisi, oyun, spor, biyokimya, tasarım ve askeri alanlar dâhil olmak üzere çeşitli alanlarda pratik karşılığı bulunan, gelişmeye ve kullanım alanlarını çeşitlendirmeye devam eden bir teknolojidir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırmanın Amacı

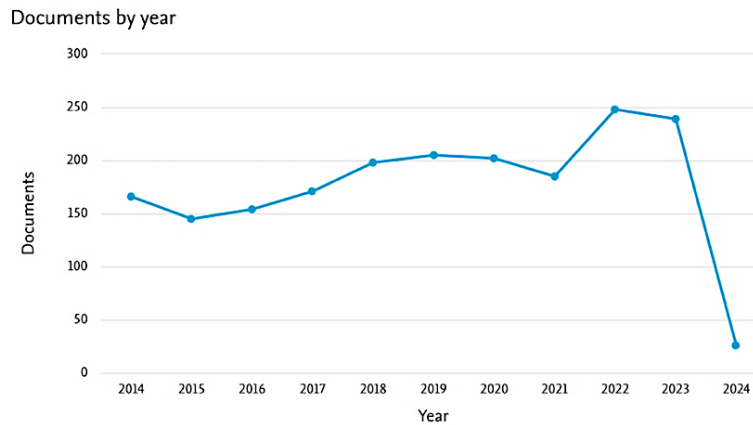
Bibliyometrik yöntem; kayıtlı bilginin özelliklerinin ve eğilimlerinin incelenmesinde, bilimsel çalışmaların sayısal verilerine ve grafiksel yorumuna dayanan nicel bir araştırma yöntemidir (Patra, Bhattacharya & Verma, 2006). Bu analiz yöntemi, araştırma alanına ilişkili bağlantı kümelerini görsel haritalar sunarak değerlendirme imkânı sağlamaktadır. Bibliyometrik yöntem, araştırma konusunu atıf oranlarına, etkileşim/bağlantı gücüne göre; ülke, yazar, kurum/organizasyon, eş yazarlık, sponsorluk ve sık tercih edilen kelime verileri üzerinden çerçeveselendirir ve

derinlemesine bir gözlem alanı sunar. Bilimsel iletişimin yapısını ve sürecini incelemek için veri setlerini paylaşır (Borgman & Furner, 2002). Elde edilen istatistiksel bilgi setlerinin sistemli görsel haritaları; araştırılan konunun öne çıkan noktalarına ve genel eğilimlerine dair kapsamlı bir değerlendirme alanını inşa eder. Araştırılan alana ilişkin ana kurucu faktörlerin, kurum ve kişilerin belirlenmesi, yapıların sınanması ve alanın gelişip genişlemesinde bibliyometrik yöntem başvurulur (Yüncü & Karagöz, 2013). Bibliyometrik yöntem, araştırma konusuna dair öncü yazar, kaynak, ülke ve organizasyon temelli çalışmaların ortaklıklarını haritalandırdığı için, çalışmaların iş birlikleri ve genel seyrine dair güçlü bir ilişkisellik ağı yöntemi olarak da öne çıkmaktadır. Dolayısıyla bibliyometri; son yıllarda akademik çalışmalarda literatürü çerçevelemek için sıklıkla kullanılan, araştırmacılara konuya dair güçlü gözlem yapabilme imkânı tanıyan etkili bir tekniktir. Bu çalışma 2014-2024 yılları arasında Scopus veri tabanından elde edilen “Motion Capture” teknolojisini konu alan araştırmaların bibliyometrik ve betimsel analizini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu eksende kavramsal çerçevesi ve literatürü disiplinler arası pek çok alanda karşılık bulan motion capture teknolojisinin bilimsel literatürüne ilişkin veri setleri, bibliyometrik analiz yöntemiyle çözümlenecektir. Bibliyometrik analiz yöntemiyle, “Motion Capture” kavramına ilişkin akademik çalışmaların hangi alanlarda, ne yoğunlukta, nasıl şekillenmekte olduğuna ilişkin bilimsel araştırma verisi ortaya konulacaktır.

Veri Analizi ve Veriler Hakkında Genel Bilgiler

6 Şubat 2024 tarihinde, Scopus veri tabanının üzerinden, “Motion Capture” anahtar kelimesi doğrultusunda yapılan taramada 1938 çalışmaya ulaşılmıştır. Veri hâkimiyetini güçlendirmek ve çalışmaya belli sınırlılıklar getirebilmek adına: çalışma başlığında motion capture kelimesinin geçmesi bir sınırlılık ölçütü olarak belirlenmiştir. Bibliyometrik analiz verisi CSV dosya uzantısı olarak dışa aktarılmıştır. Yayınların bibliyometrik veri setleri; yazar/yazarlar, çalışma başlıkları, atıf sayıları, bağlantı linkleri, yazarların bağlı oldukları kurumlar, organizasyonlar, iş birlikleri ülkelerden oluşmaktadır. Bibliyometrik yöntem, bilimsel çalışmaların sayısal verilerine ve grafiksel yorumuna dayanan nicel bir araştırma yöntemidir. Bu çalışmada da yayınların yoğunlaşmakta olduğu gözlemlenen, son 10 yıllık araştırma aralığında konu başlığı/ makale başlığında doğrudan “Motion Capture” teknolojisi yer alan 1938 çalışmaya ulaşılmıştır. Scopus veri tabanından alınan 1938 çalışmanın bibliyometrik verileri VOSviewer 1.6.20 yazılımı kullanılarak analiz edilmiş ve tablolar yardımıyla görselleştirilmiştir. Veri tabanı olarak Scopus’un tercih edilme nedeni arşiv konusunda nicel olarak daha yüksek veriyi indekslemesi nedeniyledir. VOSviewer dışında araştırmacılara farklı bibliyometrik analizler yapma imkânı sağlayan program araçları da mevcuttur. Bu çalışmada ara yüz kullanımı bakımından pratiklik sağlaması ve işlevselliği nedeniyle VOSviewer 1.6.20 yazılımına başvurulmuştur. VOSviewer bibliyometrik ağlar oluşturmak ve görselleştirmek için kullanılan bir yazılımdır.

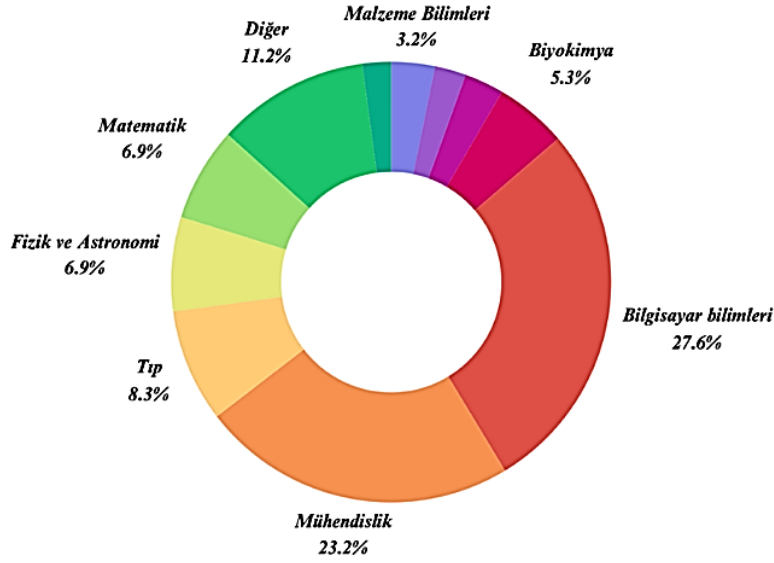
Üretilen çalışmaların yıllara göre dağılımını gösteren grafik aşağıdaki gibidir.



Şekil 1. Çalışmaların Yıllara Göre Dağılımı

Araştırma bulgularına göre; 1938 çalışmanın %27,6 gibi büyük bir oranı bilgisayar bilimleri; %23,1 mühendislik; %8,3 tıp; %6,9 oranında hem astronomy hem de matematik gibi fen ağırlıklı alanlarda üretildiği tespit edilmiştir. Sosyal bilimleri, sanat ve beşeri bilimleri gibi alanlarda ise %4,5 oranında yayına rastlanmıştır. Nitekim araştırma; sinema, reklam ve dijital oyun endüstrisi gibi sanat ve eğlence sektörü tarafından sık kullanılan motion capture teknolojisinin, literatürdeki izdüşümünün de bu disiplinlerin çalışma odağında olması varsayımına dayanmaktadır. Ancak motion capture teknolojisine ilişkin bilimsel literatür mühendislik ve sağlık alanlarında yoğunlaşırken, genel kanının aksine sosyal ve sanat temelli disiplinlerde literatürün zayıf kaldığı tespit edilmiştir. Yaratıcılık bu alanın temel kavramı olması gerekirken anahtar kelimelere bakıldığında da daha çok mühendislik, teknoloji üzerine çalışmaların ağırlıklı olarak yürütülmekte olduğu ilk etapta dahi gözlemlenebilmiştir.

Üretilen çalışmaların disiplinlere göre dağılımını gösteren grafik aşağıdaki gibidir.



Şekil 2. Çalışmaların Disiplinlere Göre Dağılımı

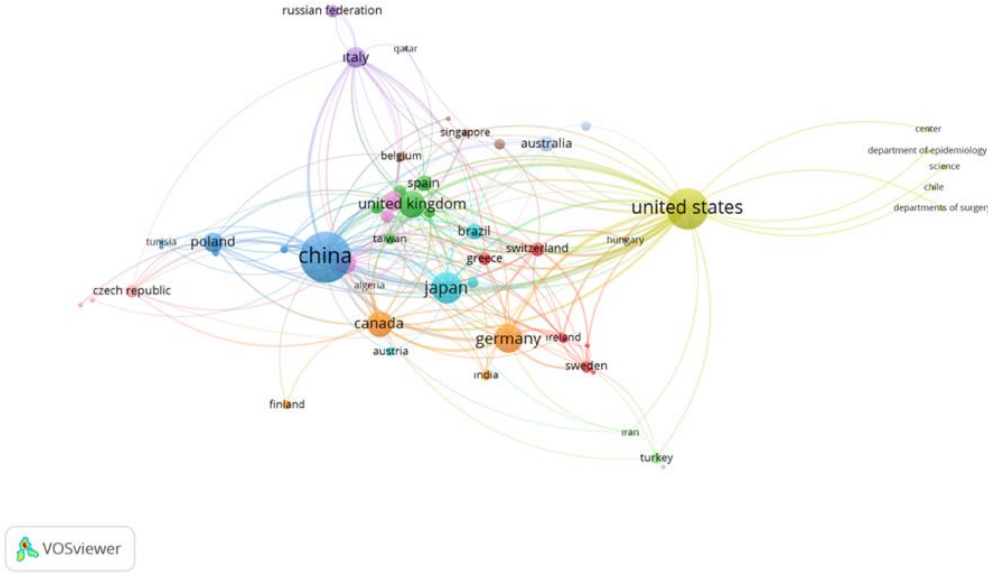
Araştırma Soruları

- Ülke atf analizinde, en çok atf olarak öne çıkan ülkeler hangileridir?
- Yazar atf analizinde, en çok atf olarak öne çıkan yazarlar kimlerdir?
- Doküman atf analizinde, en çok atf olarak öne çıkan bilimsel dokümanlar hangileridir?
- Atf yapılan kaynaklar arasında, en çok ortak atf olarak öne çıkan kaynaklar hangileridir?
- Organizasyonların atf analizinde, en çok atf olarak öne çıkan kurumlar hangileridir?
- Referanslarının ortak atf analizinde, en çok atf olarak öne çıkan referans kaynakları hangileridir?
- Yazarların anahtar kelimelerinin birlikte görülme analizinde, öne çıkan kelimeler hangileridir?

BULGULAR

Ülkelerin Atf Analizi (Analysis to Citation of Countries)

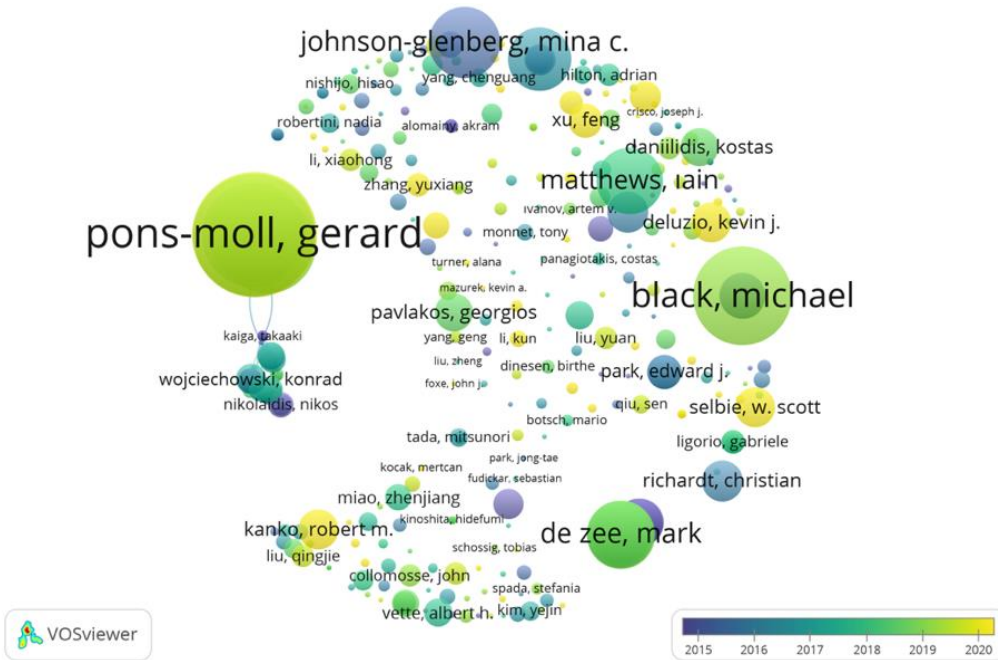
Çalışmada “motion capture” anahtar kelimesine ilişkin ülke bazlı atf ağlarının haritalamasını ortaya koymak için, bir ülkenin en az 1 yayını olması ve ülkelerin söz konusu çalışmalarının en az 1 atıfa sahip olması şeklinde bir daraltma yapılmıştır. Bu daraltma neticesinde, ülkelerin sinema endüstrisine ilişkin ürettikleri yayınların dağılımında 90 farklı ülkenin verisine ulaşılmıştır. Programın yönlendirmesiyle 90 ülke aralarında ilişki tespit edilen 54 ülke ile sınırlandırılmış ve 12 kümeye, 224 bağlantıya, 558 toplam bağlantı gücüne erişilmiştir. Bu doğrultuda yayın sayıları bakımından; Çin 333, ABD 217, Japonya 130, Almanya 101, İngiltere 89 yayın üreterek, öne çıkan ülkeler arasında gözlemlenmiştir. Atf sayıları bakımından ise; İngiltere 4476, Çin 2738, Kanada 2098, Almanya 1458, İngiltere 1255, Japonya 1120 atf olarak, binin üzerinde atf sayısına ulaşan ülkeler arasında listelenmiştir. Toplam bağlantı güçleri bakımından ise; Çin 189, ABD 171, İngiltere 68, Kanada 66, Almanya 58 etkileşim alanına sahip olarak haritalanmıştır. Türkiye “motion capture” üzerine ürettiği 15 dokümanda ABD, Kanada, Almanya, İsveç ve İran ile iş birliği ilişkisi kurmuş, 47 atıfa ve 8 toplam bağlantı gücüne erişim sağlamıştır.



Harita 1. Ülkelerin Atıf Analizi

Yazarların Atıf Analizi (Analysis to Citation of Authors)

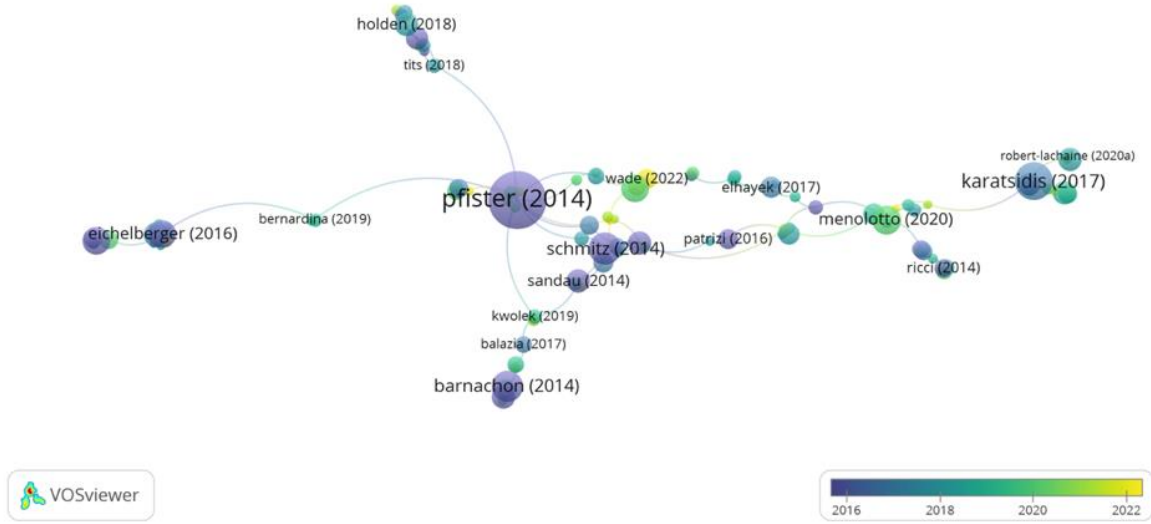
Yazar-atıf ağlarını tespit etmek üzere yapılan analizde; bir yazarın en az 2 yayın üretmiş olması ve en az 10 atıf kriteri ile ağ haritası çıkarılmış ve toplamda 457 gözlem biriminin birbiri ile ilişkisi tespit edilmiştir. 457 gözlem biriminin görsel haritasının oluşturulması esnasında; 245 küme, 704 bağlantı ve 1066 toplam bağlantı gücü tespit edilmiştir. En yüksek atıf alan beş yazar; Gerard Pons-Moll 596, Christian Theobalt 576, Helge Rhodin, 477, Michael Black 447, Nikolaus F. Troje 437'dir. Alanda en çok yayın üreten yazar 13 doküman ile Zhenjiang Miao'dur. Miao tüm çalışmalarından 92 atıf elde etmiş ancak 0 toplam bağlantı gücüne erişim sağlamıştır. Miao'yu takip eden Konrad Wojciechowski 9 doküman ile 109 atıf, 15 toplam bağlantı gücü, Mark De Zee 4 doküman, 288 atıf, 18 toplama bağlantı gücü; Giang Zhang 8 doküman, 28 atıf, 13 toplam bağlantı gücü; Helge Rhodin 8 doküman, 477 atıf 10 toplam bağlantı gücü; Mina C. Johnson Glenberg 2 doküman, 301 atıf, 0 bağlantı gücü ile görsel haritada öne çıkan yazarlar olarak kaydedilmiştir.



Harita 2. Yazarların Atıf Analizi

Dokümanların Atıf Analizi (Citation of Document)

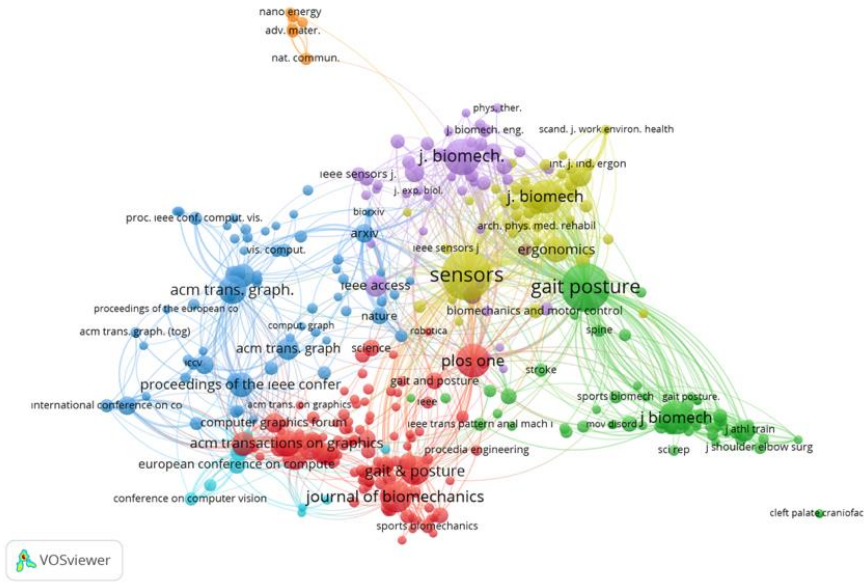
Çalışmada erişilen 1939 doküman 10 atıf almış çalışmalar özelinde daraltılarak 455 çalışmayla sınırlandırılmıştır. 455 çalışma aralarında ilişki bulunan 102 araştırma gözlem biriminden 17 kümeye, 118 bağlantıya erişim sağlanmıştır. Bu haritalamada; Pfister (2014) olarak gösterilen makale çalışması 370 atıf ve 13 toplam bağlantı gücü ile öne çıkmıştır. Joo (2015) 276, Van der Kruk (2018) 263, Park (2015b.) 224 Johnson Glenberg (2014) 205 atıf ile en çok atıf alan dokümanlar arasındadır. En yüksek toplam bağlantı gücüne sahip yayımlar ise; 2014 yılına ait Pfister'in 370 atıf alan çalışması 13, 2016 yılında Eichelberger 93 atıf alan çalışması 11, 2015 yılına ait Schmitz'in 65 atıf alan çalışmasıdır 8 toplam bağlantı gücüne erişmiştir. 2016 yılında Faber'ın 60 atıf alan yayını 7, Yunus'un 2021 yılında ürettiği çalışması 23 atıfla 7 toplam bağlantı gücü ile ilk beşte yer alan yayımlar arasında gözlemlenmiştir. "Comparative Abilities of Microsoft Kinect and Vicon 3D Motion Capture for Gait Analysis" [Yürüyüş Analizi için Microsoft Kinect ve Vicon 3D Hareket Yakalamasının Karşılaştırmalı Yetenekleri] adlı bu çalışma tıp alanındadır. Alexandra Pfister, Alexandre M. West, Shaw Bronner, Jack Adam Noah tarafından üretilen bu çalışmanın ABD'de farklı kurumlarda çalışmakta olan araştırmacılar tarafından üretildiği tespit edilmiştir.



Harita 3. Dokümanların Atıf Analizi

Atıf Yapılan Kaynakların Ortak Atıf Analizi (Co- Citation of Cited Sources)

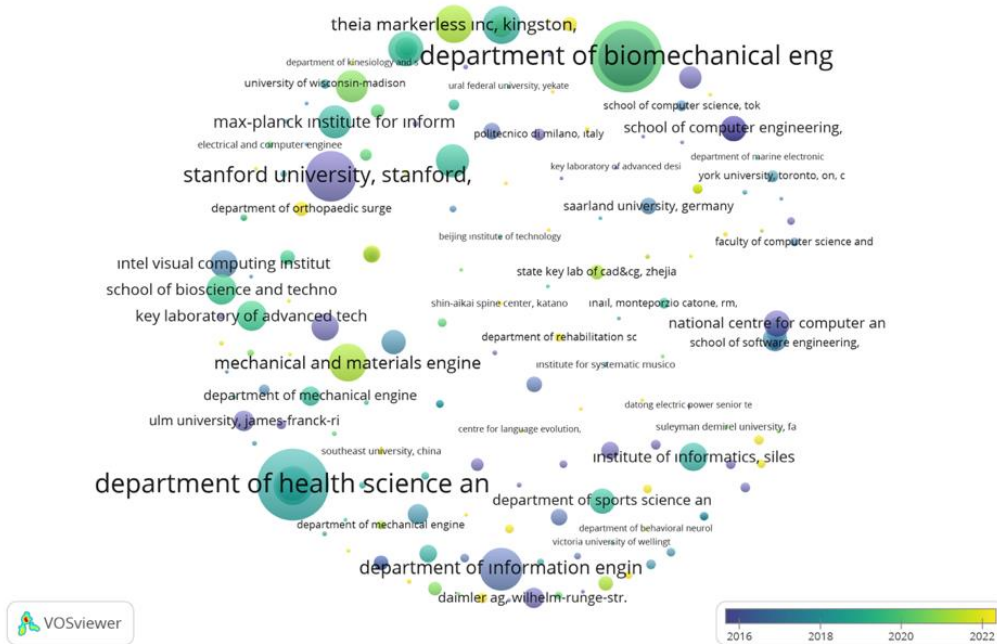
Çalışmanın bu aşamasında 20880 farklı analiz birimi (Sources), çalışma verilerine hakimiyet sağlamak adına 15 atıf alan çalışma özelinde daraltılmıştır. Bu doğrultuda, 356 analiz ögesi, 8 küme 12451 bağlantı, 137921 toplam bağlantı gücü bulgulanmıştır. Bu haritalamada Sensors 933 atıfla, 321 bağlantı ve 15585 toplam bağlantı gücüyle birinci sırada listelenmiştir. Görsel haritada 849 atıf ile ikinci sırada yer alan kaynak Gait Posture 245 bağlantı, 14130 toplam bağlantı gücü elde etmiştir. Üçüncü sırada yer alan J. Biomech 151 bağlantı, 441 atıf, 8442 toplam bağlantı gücüne erişmiştir.



Harita 4. Atıf Yapılan Kaynakların Ortak Atıf Analizi

Organizasyonların Atıf Analizi (Citation Analysis of Organization)

Organizasyonlar arası atıflara dair ağ haritası oluşturmak üzere 3916 organizasyon üzerinden analiz yapılmıştır. Bu analizde organizasyon tarafından en az 1 eserin yayımlanması ve 1 atıf alınması kriteri kapsamında aralarında ilişki bulunan 190 gözlem birimine erişilmiştir. 190 organizasyon analiz verisi ile yapılan bu haritalama neticesinde; 13 küme, 18 bağlantı, 21 toplam bağlantı gücü tespit edilmiştir. Bu görsel haritada Aalborg Üniversitesi, (Danimarka) Teknoloji ve Bilim Sağlığı Departmanı 270 atıfla birinci sırada yer alırken, Delft Teknik Üniversitesi (Hollanda) Biyomekanik Mühendislik Departmanı 267 atıfla ikinci sırada, Stanford Üniversitesi (ABD) 162 atıfla üçüncü sırada kaydedilmiştir. Lublin Teknoloji Üniversitesi (Polonya), Pekin Üniversitesi (Çin) Jinan Üniversitesi (Çin) ürettikleri 5 yayın ile alanda en fazla yayın üreten üniversiteler arasında listelenmiştir.

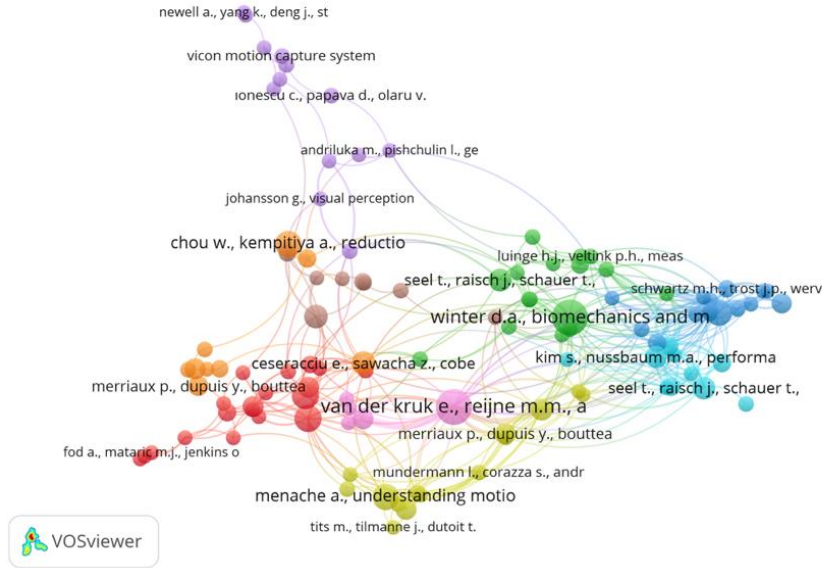


Harita 5. Organizasyonların Atıf Analizi

Referansların Ortak Atıf Analizi (Co-Citation of Cited References)

Araştırmaya konu olan 1938 analiz biriminin tamamından elde edilen toplam 47175 referans, atıf yapılan bir referansın minimum atıf sayısı 5 olarak belirlenerek daraltılmış ve 116 çalışmaya ulaşılmıştır. En yüksek toplam bağlantı dizinine sahip atıfta bulunulan referans kaynakları seçilerek oluşturulan haritada; 9 kümeye, 407 bağlantıya, 550 toplam bağlantı gücüne erişilmiştir. Bu haritada özellikle sağlık ve spor bilimleri alanındaki çalışmaların öne çıkmakta olduğu gözlemlenmiştir. Delft Üniversitesi'nden iki araştırmacının; Eline Van Der Kruk & Marco M. Reijne'nin 2018 yılına ait makale çalışmaları: "Accuracy of Human Motion Capture Systems for Sport Applications; State of Theart Review" [Spor Uygulamaları İçin İnsan Hareket Yakalama Sistemlerinin Doğruluğu; Son Teknoloji İncelemesi] 29 atıf, 54 toplam bağlantı gücü ile birinci sırada yer almaktadır.

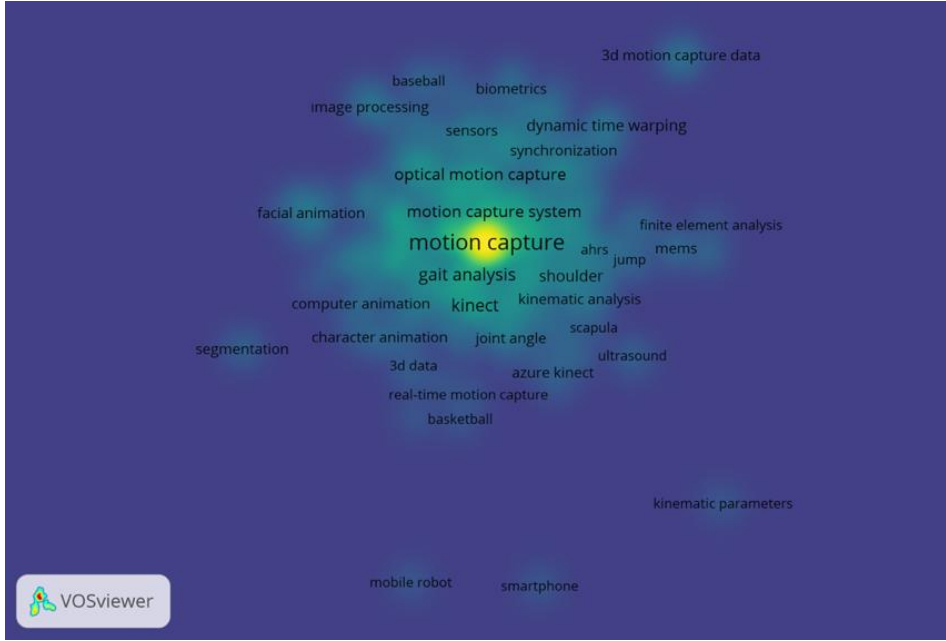
İkinci sırada David A. Winter'ın ilk olarak 1976 yılında basılan kitap çalışmasının, 2009 yılına ait dördüncü basımı "Biomechanics and Motor Control of Human Movement" [İnsan Hareketinin Biyomekaniği ve Motor Kontrolü] öne çıkmaktadır. Üçüncü sırada ise Alberto Menache'nin "Understanding Motion Capture for Computer Animation" [Bilgisayar Animasyonu İçin Hareket Yakalamayı Anlamak] adlı kitap çalışması izlenmiştir. Motion Capture konusunda kapsamlı bilgiler sunan bu kitap çalışması, en son teknolojileri, metodolojiyi ve mevcut motion capture endüstrisindeki gelişmeleri incelemektedir.



Harita 6. Referansların Ortak Atıf Analizi

Yazarların Anahtar Kelimelerinin Birlikte Görülme Sıklığı (Co-Occurrence of Author Keywords)

Araştırma kapsamında en sık kullanılan anahtar sözcüklerin tespiti için en az üç kez tekrar eden kelimelere odaklanılmıştır. 4138 kelimedenden 349 kelimenin arasında ilişki ağı tespit edilmiştir. En az 3 defa görülen ve aralarında ilişki ağı olduğu gözlemlenen kelimeler üzerinden yapılan yoğunluk analizi sonucunda; toplam bağlantı gücü açısından en güçlü kelimeler; "motion capture" 988, "kinematics" 188, "biomechanics" 155, "gait analysis" 147, "deep learning" 119, olarak bulgulanmıştır. 663 tekrarla "motion capture" birinci sıradayken, "kinematics" 76 tekrarla ikinci, "biomechanics" 68, tekrarla üçüncü, "virtual reality" 66 tekrarla dördüncü ve "gait analysis" 56 tekrarla beşinci sırada haritalanmıştır.



Harita 7. Anahtar Kelimelerin Birlikte Görülme Sıklığına İlişkin Yoğunluk Analizi

DEĞERLENDİRME, SONUÇ VE ÖNERİLER

“Motion Capture” anahtar kelimesi doğrultusunda Scopus veri tabanındaki çalışmaların dağılımı tablolar ve şekiller aracılığıyla görselleştirilerek haritalandırılmıştır. En yüksek yayın sayısına ulaşılan 2022 yılında 249 çalışmaya ulaşılmıştır. Araştırma kapsamına giren 1938 çalışmanın 919’u makale, 914’ü konferans bildirisi, 44’ü kitap bölümü 33’ü eleştiri, 3’ü kitap çalışması olarak kaydedilmiştir. Kapsam dahilinde bulguların diğer 25 çalışmanın ise çeşitli veri notları, editör mektupları ya da geri çekilen çalışmalardan oluştuğu gözlemlenmiştir. Motion capture teknolojisi üzerine yayınlanan çalışmaların dağılımında 90 farklı ülkenin verisine ulaşılmıştır. 12 farklı dilde üretilen yayınların, 1860’ı İngilizcedir. Yayınların dillere göre dağılımı; 47 Çince, 6 Rusça, 5 İspanyolca, 4 Korece, 4 Portekizce 3 Almanca, 3 Japonca, 2 Türkçe, 2 Lehçe, 1 Fransızca, 1 Hırvatça dillerinde kaydedilmiştir. Yayın sayıları bakımından önde gelen ülkeler arasında ABD, İngiltere, Çin, Japonya, Almanya gibi teknolojiye yön veren lider ülkelerin ve İngilizce üretilen yayınların öne çıkmakta olduğu tüm bibliyometrik haritalarla saptanmıştır.

Ülke atf haritasında; Çin 333, ABD 217, Japonya 130, Almanya 101, İngiltere 89 yayın üreterek öne çıkan ülkeler arasında izlenmiştir. Atf sayıları bakımından ise; İngiltere 4476, Çin 2738, Kanada 2098, Almanya 1458, İngiltere 1255, Japonya 1120 atf olarak, binin üzerinde atf sayısına ulaşan ülkeler arasında listelenmiştir. Toplam bağlantı güçleri bakımından ise; Çin 189, ABD 171, İngiltere 68, Kanada 66, Almanya 58 etkileşim alanına sahip olarak haritalanmıştır. Türkiye “motion capture” üzerine ürettiği 15 dokümanda ABD, Kanada, Almanya, İsveç ve İran ile iş birliği ilişkisi kurmuş, 47 atıfa ve 8 toplam bağlantı gücüne erişim sağlamıştır.

190 gözlem birimine erişilen kurum/organizasyon analizinde de atf sayıları bakımından özellikle Avrupa ülkelerinin, sağlık ve mühendislik alanlarının önde gelmemekte olduğu gözlemlenmiştir. Danimarka Aalborg Üniversitesi, Teknoloji ve Bilim Sağlığı Departmanı 270 atıfla birinci sırada yer alırken, Hollanda Delft Teknik Üniversitesi Biyomekanik Mühendislik Departmanı 267 atıfla ikinci sırada yer almaktadır. ABD Stanford Üniversitesi de çeşitli alanlarda ürettiği yayınlarla 162 atıfa erişerek üçüncü sırada kaydedilmiştir. Alanda en fazla bilimsel yayın üreten üniversiteler arasında ise; Lublin Teknoloji Üniversitesi (Polonya), Pekin Üniversitesi (Çin) Jinan Üniversitesi (Çin) listelenmiştir. Ancak bu üniversiteler alana ilişkin beşer yayın ürettikleri halde, güçlü network ve iş birliktelikleri kuramamaları dolayısıyla atf sayıları bakımından düşük bağlantı gücüyle haritalanmıştır.

En yüksek atf alan yazarların analiz haritasında öne çıkan beş yazar; Gerard Pons- Moll 596, Christian Theobalt 576, Helge Rhodin, 477, Michael Black 447, Nikolaus F. Troje 437’dir. En yüksek toplam bağlantı gücüne sahip yayın ise; 2014 yılına ait 370 atf alan Alexandra Pfister’in ilk yazar olduğu çalışmadır. Tıp alanındaki bu çalışma ABD’de farklı kurumlarda çalışmakta olan araştırmacılar tarafından üretilen, ortak yazarlık ilişkisine dayanan bir çalışmadır. Doküman, atf sayıları ve toplam bağlantı güçleri bakımından; bilgisayar bilimleri alanında üretilen yayınlar %27,6’lık bir dilime karşılık gelirken mühendislik alanında üretilen yayınlar %23,2’lik bir dilimle

gözlemlenmiştir. Bu iki disiplin, motion capture alanına ilişkin güncel gelişmeleri yakından izleyerek, teknolojik ilerlemeleri bilimsel olarak kayıt altına almak konusunda önde gelen alanlar arasında izlenmiştir.

17 atıf, 9 toplam bağlantı gücüyle izlenen referansların ortak atıf analiz haritasında bulgularının gibi; “motion capture” anahtar kelimesi etrafında çerçevelenen bilimsel yayımlar daha çok mühendislik temelli, bilgisayar teknolojileri, sağlık ve spor bilimleri alanlarında ilerlemektedir. Grup sensörlerinin izlenmesinde ve kaydedilmesinde daha ucuz kamera sistemlerinin ve elektromanyetik alanların nasıl kullanılabileceği, bilgiye erişim konusunda geniş imkânlar verecek veri eldivenlerinin tasarımı gibi teknik ve teknolojik gelişme odaklı yayımlar hem atıf hem de toplam bağlantı güçleriyle öne çıkmaktadır. Atıf yapılan kaynakların ortak atıf analizinde de genellikle Q1 ve Q2 listelerinde öne çıkmakta olan uluslararası üç derginin liste başında izlenmekte olduğu tespit edilmiştir. Görsel haritada Sensors dergisi 933 atıfıyla birinci sırada listelenirken, Gait Posture 849 atıf ile ikinci sırada, J. Biomech 441 atıf ile üçüncü sırada listelenmiştir. Sensors; sensör bilimi ve teknolojisi üzerine uluslararası, hakemli, açık erişimli bir dergidir. Gait & Posture dergisi; hareket ve dengenin tüm yönleriyle ilgili güncel temel ve klinik araştırmaların yayımlanmaya odaklanırken, Journal of Biomechanics dergisi; biyolojik problemleri araştıran çalışmaların mekanik prensipleri kullanmasını, orijinal bulguların raporlanmasını incelemektedir. Bu haritalamada da bilgisayar bilimleri, mühendislik ve sağlık araştırmalarının öne çıkmakta olduğu gözlemlenmektedir. Literatürü çerçevelendiren diğer disiplinler arasında sosyal bilimler, sanat temelli çalışmalara da rastlanmıştır. Ancak “motion capture” teknolojisine ilişkin bilimsel literatür mühendislik, bilgisayar bilimleri ve sağlık alanlarında yoğunlaşırken, genel kanının aksine tüm haritalarda sosyal ve sanat temelli disiplinlerde literatürün oldukça zayıf kalmakta olduğu bulgulanmıştır.

Çalışma vesilesiyle tespit edilen konuya ilişkin en önemli eksiklik; bu alanlardaki çalışmaların nicelik ve nitelik olarak, teknik ve teknoloji temelli bakış açılarından dışarıda da incelenmesi gerekliliğidir. Anahtar kelimelere bakıldığında da daha çok mühendislik, teknoloji, teknik zeminde ilerleyen çalışmaların anahtar kelimelerinin ağırlıkta olduğu sonucuna varılmıştır. Keza sanat ve tasarım ağırlıklı çalışmalarda rastlanılabileceği yüksek anahtar kelimelerinin çok daha sınırlı sayıda tekrar ettiğine dönük harita bulguları da alandaki bilgi eksikliğini ortaya koymaktadır. Anahtar kelimelerinin birlikte görülme sıklığı analizinde; animation 24, character animation 8, 3D animation 6, video games sadece 3 tekrar ile haritalanmıştır. Nitekim toplam bağlantı güçleri ve atıf sayıları bakımından da sosyal ve sanat temelli çalışmaların daha zayıf ilişkisellik ağına sahip olduğu ve geri planda kaldığı gözlemlenmiştir.

Motion capture teknolojisi film ve oyun endüstrisinde yükselen bir teknoloji olmasına karşın, bilimsel alandaki izdüşümü aynı seviyede izlenmemektedir. Dolayısıyla çalışma bu ve benzeri eğilimleri ortaya koyması nedeniyle; alandaki nitel ve nicel araştırmalara kaynaklık edebilir ve ihmal edilen konu başlıklarına dair bir yol haritası sunabilir. Nitekim sinema endüstrisinde ve dijital oyun dünyasında “artırılmış gerçeklik” çalışmalarının yaygınlaşmasıyla birlikte; MoCap teknolojisine ilişkin bilimsel yayıncılık yönelimlerinin de değişmeye başladığı çalışma çıktıları arasındadır. Bilhassa 2016 sonrası dönemde, hareketi yakalama konusuna ilişkin yayın sayılarında ciddi bir artışın olduğu, 2022 yılında ise yayınların en yüksek rakama ulaştığı kayıt altına alınmıştır. Bu bağlamda son dönem yayınlarda; sanal gerçeklik ve hareketi yakalama teknolojileriyle birlikte değişen oyunculuk performanslarına dönük çalışmalara da özel bir yönelimin başladığından söz etmek mümkündür (Kade D. vd. 2018: Xuhui, 2021: Cannavò vd. 2023).

Yaratıcılık, tasarım odaklı düşünme, özgünlük bu alanın temel dinamosu, bilgi üretim kaynağı olması gerekirken bu çerçevede üretilen bilimsel yayınların oldukça sınırlı düzeyde izlenmesi araştırmanın en çarpıcı bulguları arasındadır. Son 10 yıllık veri analizi göstermektedir ki; motion capture teknolojisi yakın bir gelecekte gündelik hayatın hemen her alanında insan hayatını kolaylaştıran teknolojik bir araç olacaktır. Dolayısıyla bilimsel çalışmaların da güncel teknolojik gelişmeler doğrultusunda ilerlemekte olduğu ve kapsamını genişlettiği haritalarda öne çıkmaktadır. Ancak yaratıcılığa dayalı bu teknolojinin daha işlevsel kullanım alanlarının tespiti için sosyal bilimler ve sanat alanlarında da çok daha fazla araştırmaya konu olması gerekmektedir. Çalışmanın önemli bir bulgusu da alandaki bu boşluğun vurgulanması ve gelecek çalışmaları ihmal edilen konulara ilişkin bilinçlendirmesidir. Bu bakımdan sanat, tasarım ağırlıklı disiplinlerin akademik performanslarının sektörel beklentilerle uyumlu olmadığı tüm haritalarda açıkça gözlenmiştir.

Elde edilen tüm araştırma sonuçlarının, çalışmaya getirilen sınırlılıklar nedeniyle, birtakım handikaplı, kısıtlı tarafları söz konusudur. Çalışma özelinde, sadece Scopus veri tabanında taranan çalışmalara yer verilmesi, Web of Science, PubMed, Proquest, Google Scholar, Semantic Scholar, YÖK Tez Arşivi, DergiPark gibi uluslararası ve ulusal arşivlerdeki bilimsel çalışmalara dönük analiz verilerine yer verilmemesi bu çalışmanın en önemli sınırlılığdır. Ayrıca bu çalışmada sadece 1 Ocak 2014-6 Şubat 2024 yılları arasındaki yayınların dağılımına odaklanılmaktadır.

Bu bakımdan benzer bir çalışma, farklı veri tabanları üzerinden ya da farklı dönemlere ilişkin olarak da yürütülebilir. Böylece aynı çerçeveye sahip iki çalışmanın veri setleri ve araştırma sonuçları karşılaştırılarak, yeni araştırma çıktılarına erişim sağlanabilir. Dolayısıyla yeni araştırmacılar için önerimiz “motion capture” alanındaki gelişmeleri yakından izlemek adına, bilimsel yayınların arşivlenmesinde ortamın/mecranın etkisine ilişkin karşılaştırmalı bir analiz yapmalarınıdır. Kuşkusuz benzer kapsama sahip farklı araştırmaların da yürütülmesi; “motion capture” konusuna ilişkin bilimsel yayıncılık faaliyetlerinin seyrine dair güncel araştırmaların anlık olarak yakından izlenmesine ve yönlendirilmesine anlamlı yanıtlar verecektir. Ayrıca teknolojiyle paralel olarak ilerleyen kayıtlı bilimsel bilginin nitelikli şekilde tanımlanıp çoğalması ve tasnif edilmesi konusunda da bilim dünyasına önemli katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Auslander, P. (2017). Film Acting and Performance Capture. *PAJ: A Journal of Performance and Art*, 39(3), 7-23. https://doi.org/10.1162/PAJJ_a_00376
- Baker T. (2020). The History of Motion Capture within the Entertainment Industry. Unpublished thesis. Metropolia University of Applied Sciences, Helsinki, Finland.
- Borgman, C. L. & Furner, J. (2002). Scholarly communication and bibliometrics. *Annual Review of Information Science and Technology*, 36(1), 2-72. <https://doi.org/10.1002/aris.1440360102>
- Bregler, C. (2007). Motion capture technology for entertainment. *IEEE Signal Processing Magazine*, 24(6), 160-158. <https://doi.org/10.1109/MSP.2007.906023>
- Cannavò, A. F., Praticò, G., Bruno, A., & Lamberti F. (2023, July). AR-MoCap: using augmented reality to support motion capture acting, 2023 IEEE Conference Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR). Shanghai, China, (pp. 318-327). <https://doi.org/10.1109/VR55154.2023.00047>
- Corazza, S., Muendermann, L., Chaudhari, A. M., Demattio, T., Cobelli, C., & Andriacchi, T. P. (2006). A Markerless Motion Capture System to Study Musculoskeletal Biomechanics: Visual Hull and Simulated Annealing Approach. *Annals of biomedical engineering*, 34, 1019-1029. <https://doi.org/10.1007/s10439-006-9122-8>
- Delaney, B. (1998). On The Trail of The Shadow Woman: The Mystery of Motion Capture. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 18(5), 14-19. <https://doi.org/10.1109/38.708556>
- Delbridge, M. (2015). Motion capture in performance: an introduction. Springer Science & Business Media.
- Dower J. & Langdale P. (2022). Performing for motion capture: A guide for practitioners. London, UK: Bloomsbury Publishing.
- Erdem, S. (2021). Sanalı Gerçeğe Dönüştürmede Hareket Yakalama Teknolojisi. *Dijital Communication Journal*, 4(5), 16-32. <http://dx.doi.org/10.51295/dicoj.25>
- Galantucci, L. M., Lavecchia, F., & Percoco, G. (2010). A simple photogrammetric system for automatic capture and measurement of facial soft tissues during movement. In *Innovative Developments in Design and Manufacturing* (pp. 169-174). CRC Press.
- Guerra-Filho, G. (2005). Optical Motion Capture: Theory and Implementation. *RITA*, 12(2), 61-90. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:16410896>
- Herda, L., Fua, P., Plankers, R., Boulic, R., & Thalmann, D. (2000, January). Skeleton-based motion capture for robust reconstruction of human motion. In *Proceedings Computer Animation 2000* (pp.77-83). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CA.2000.889046>
- Imanullah, M., Yuniarno, E.M., Sooai, A.G., (2019). A Novel Approach in Low-cost Motion Capture System Using Color Descriptor and Stereo Webcam. *International Journal of Technology*, 10(5), 942-952 <https://doi.org/10.14716/ijtech.v10i5.2789>
- Kade, D., Lindell, R., Ürey, H., & Özcan, O. (2018). Supporting motion capture acting through a mixed reality application. In F. Cipolla-Ficarra (Eds.), *Optimizing human-computer interaction with emerging technologies* (pp. 248-273). Pensilvanya: IGI Global.

- Kitagawa, M., & Windsor, B. (2008). *MoCap for artists: workflow and techniques for motion capture*. New York: Routledge.
- Krueger, M. W., Gionfriddo T., & Hinrichsen K. (1985, April). VIDEOPLACE—An Artificial Reality. *Association for Computing Machinery*, 16 (4), 35–40 <https://doi.org/10.1145/317456.317463>
- Maxwell, D. R. (1983). *Graphical marionette: a modern-day Pinocchio*. Unpublished master's thesis. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge.
- Mechner J. (2023). Prince of persia rotoscoping 1986. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=AbbX_Mq-gdg /Accessed 04.04.04
- Menache, A. (2011). *Understanding motion capture for computer animation*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
- Nogueira, P.A. (2011). *Motion Capture Fundamentals A Critical and Comparative Analysis on Real-World Applications*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:35967233>
- O'Brien, J.F., Bodenheimer, B., Brostow, G.J., & Hodgins, J.K. (2023). Automatic joint parameter estimation from magnetic. *Motion Capture Data*. ArXiv, abs/2303.10532.
- Parent, R., Ebert, D. S., Pauly, M. V., Peachey, D., Perlin, K., Pfister, H., ... & Musgrave, F. K. (2010). *Computer animation complete: all-in-one: learn motion capture, characteristic, point-based, and Maya winning techniques*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Paterson, M. (2021). The Birth of Motion Capture: Transcribing The Phenomena of Bodily Movement Through the “Graphic Method”. *Multimodality & Society*, 1(2), 195-215. <https://doi.org/10.1177/26349795211040323>
- Patra, S. K., Bhattacharya, P. & Verma, N. (2006). Bibliometric Study of Literature on Bibliometrics. *DESIDOC Journal of Library & Information Technology*, 26(1), 27-32. <https://doi.org/10.14429/dbit.26.1.3672>
- Rossney, B. (2022). *Reimagining characters with unreal engine's metahuman creator: elevate your films with cinema-quality character designs and motion capture animation*. UK: Packt Publishing.
- Sturman, D. (1998). The State Of Computer Animation. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 32(1), 57-61. <https://doi.org/10.1145/279389.279467>
- Van der Kruk, E., & Reijne, M. M. (2018). Accuracy of Human Motion Capture Systems for Sport Applications; State of The Art Review. *European journal of sport science*, 18(6),806-819. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1463397>
- Xuhui Z., (2021, January). A design method of group animation fusion motion capturing data based on virtual reality technology, 2021 13th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation Beihai, China (ICMTMA) (pp. 261-265). <https://doi.org/10.1109/ICMTMA52658.2021.00063>
- Yüncü, HR. & Karagöz, D. (2013). Sosyal Ağ Analizi ile Turizm Alanında Yazılmış Doktora Tezlerinin Araştırma Konularının İncelenmesi. *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (15),205-232. <https://doi.org/10.14520/adyusbd.666>