



ADÜ- Spor Bilimleri Dergisi

ADÜ- Journal of Sport Science

ORJİNAL ARAŞTIRMA

Sağlık ve Spor Bilimleri Alanında Kullanılan Hareket Analizi Yazılımları

Barış TÜRKER 

Başvuru Tarihi: 11.12.2024

Kabul Tarihi: 30.12.2024

Yayımlanma Tarihi: 31.12.2024

Trabzon Üniversitesi, Tonya Meslek Yüksekokulu, Trabzon/Türkiye, fzt.baristurker@gmail.com

Özet

Hareket analizleri, sağlık alanında kas-iskelet sistemi problemlerinin önlenmesi, teşhisi ve tedavi süreçlerinin planlanmasında önemli bir rol oynar. Spor alanında ise yaralanma risklerinin azaltılması ve performansın artırılması için kullanılır. Son yıllarda teknolojiye hızlı ilerlemeler, insan hareketinin değerlendirilmesi ve analizi için yeni ve hassas yöntemlerin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Hareket analizleri, kinetik ve kinematik olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilir. Kinematik, bir cismin hareketini, pozisyonunu, hızını, ivmesini ve konumsal bilgilerini analiz eden dinamiğin bir dalıdır. Kinetik ise insan vücudu veya herhangi bir sisteme etki eden kuvvetleri inceleyen bilim dalıdır. Sağlık ve spor bilimleri alanında insan hareketini analiz etmenin iki ana yöntemi vardır. İlk yöntem olan video tabanlı analizlerde kameralar kullanılarak sporcuların hareketleri antrenman veya müsabakalar sırasında kaydedilir ve sporculara geri bildirim sağlanır. Hareket analizlerinde kullanılan diğer bir yöntem ise hareket yakalama (motion capture) sistemleridir. Hareket analizlerinin hızlı ve güvenilir bir şekilde yapılabilmesi için, hareket verilerinin yazılımlar aracılığıyla işlenmesi ve sayısallaştırılması gerekir. Bu süreçleri bir arada bulunduran birçok hareket analiz yazılımı bulunmaktadır. Bu yazılımların bazıları yalnızca kinematik, bazıları ise hem kinetik hem de kinematik analizlerin gerçekleştirilmesine olanak tanır. Hareket analizi yazılımlarının en popülerleri Dartfish, APAS (Ariel Performance Analysis System), AnyBody, Visual3D, OpenSim, Qualisys, Skillspector, Kinovea, MaxTRAQ and Simi Motion olarak sıralanabilir.

Anahtar Kelimeler: Hareket analizi, Hareket yakalama, Kinovea, Kinetik, Kinematik.

Motion Analysis Software Used in Health and Sports Sciences

Abstract

Motion analysis plays an important role in the prevention, diagnosis and treatment planning of musculoskeletal problems in the field of health. In sports, it is used to reduce the risk of injury and improve performance. Rapid advances in technology in recent years have enabled the development of new and sensitive methods for the assessment and analysis of human movement. Motion analysis is performed in two different ways: kinetic and kinematic. Kinematics is a branch of dynamics that analyses the motion, position, velocity, acceleration and positional information of a body. Kinetics is the branch of science that studies the forces acting on the human body or any system. There are two main methods of analysing human motion in the field of health and sport sciences. The first method, video-based analyses, uses cameras to record athletes' movements during training or competitions and provides feedback to the athletes. Another method used in motion analyses is motion capture systems. In order to perform motion analyses quickly and reliably, motion data must be processed and digitised by means of software. There are many motion analysis software that combine these processes together. Some of these software allow only kinematic analyses and some allow both kinetic and kinematic analyses to be performed. The most popular motion analysis software are Dartfish, APAS (Ariel Performance Analysis System), AnyBody, Visual3D, OpenSim, Qualisys, Skillspector, Kinovea, MaxTRAQ and SIMI motion.

Key Words: Motion analysis, Motion capture, Kinovea, Kinetic, Kinematic.

Giriş

Hareket analizi, bireylerin belirli bir süre boyunca gerçekleştirdiği hareketlerin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi ve değerlendirilmesi işlemidir. Bu analizler, sağlık alanında kas-iskelet sistemi problemlerinin önlenmesi, teşhisi ve tedavi süreçlerinin planlanmasında önemli bir rol oynar. Spor alanında ise yaralanma risklerinin azaltılması ve performansın artırılması için kullanılır (Dönmez ve vd., 2014; Thomas vd., 2022). Son yıllarda teknolojiye hızlı ilerlemeler, insan hareketinin değerlendirilmesi ve analizi için yeni ve hassas yöntemlerin geliştirilmesine olanak sağlamıştır (Cimolin ve Galli, 2014; Wren vd., 2020).

Hareket analizleri, kinetik ve kinematik olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilir. Kinematik, bir cismin hareketini, pozisyonunu, hızını, ivmesini ve konumsal bilgilerini analiz eden dinamiğin bir dalıdır. Bu tür analizlerde, harekete neden olan kuvvetlerden bağımsız olarak hareketin kendisi incelenir (Winter, 2009). Kinematik analizler, hareketin sebep ve etkilerinden ziyade, uzaysal ve zamansal bir perspektiften hareketin özelliklerini değerlendirir (Hamill vd., 2006). Hareket analizlerinde kullanılan diğer bir yöntem ise kinetik analizlerdir. Kinetik, insan vücudu veya herhangi bir sisteme etki eden kuvvetleri inceleyen bilim dalıdır. Bu analiz türünde, eklem momentleri, yer ve eklem reaksiyon kuvvetleri gibi hareketi oluşturan ya da hareket sonucunda ortaya çıkan kuvvetler değerlendirilir (Winter, 2009).

Sağlık ve spor bilimleri alanında insan hareketini analiz etmenin iki ana yöntemi vardır. İlk yöntem olan video tabanlı analizlerde kameralar kullanılarak sporcuların hareketleri antrenman veya müsabakalar sırasında kaydedilir ve sporculara geri bildirim sağlanır (Pueo, 2016). Bu geri bildirim, görev tamamlandıktan hemen sonra veya belirlenen vücut noktalarının (body landmarks) özel yazılımlar aracılığıyla manuel olarak dijitalleştirilmesinin ardından sağlanır. Video tabanlı analizler sadece kontrollü laboratuvar ortamlarında değil, açık hava veya gerçek yarışmalarda da yapılabilmektedir. Günümüzde bu analizler; video kaynakları, uygun bilgisayar ekipmanı ve video sayısallaştırma yazılımları kullanılarak gerçekleştirilebilir (Balsalobre-Fernandes vd., 2014).

Hareket analizlerinde kullanılan diğer bir yöntem ise hareket yakalama (motion capture) sistemleridir. Hareket yakalama, teknik analiz ve yarışma değerlendirmesi gibi çeşitli spor disiplinlerinde ve sağlık alanında yaygın olarak kullanılmaktadır (Marqués vd., 2017). Hareket yakalama sistemlerinde, hareketi yakalama, kaydetme ve belirlenen vücut noktalarını zaman içinde izleyerek hareketi iki veya üç boyutlu olarak değerlendirme işlemi yapılır. Bu veriler, matematiksel terimlere dönüştürülerek analiz edilir. Hareket yakalama sistemlerinde sayısallaştırma sonuçları ölçümün hemen ardından otomatik olarak elde edilebilir. Bu sistemlerde insan hareketi gerçek

zamanlı olarak kapsamlı bir şekilde izlenir ve kaydedilir (Lopez vd., 2017). Zaman içinde optik, optik olmayan ve işaretli gibi farklı hareket yakalama yaklaşımları geliştirilmiştir. Günümüzde bu sistemler içerisinde kızılötesi ışıkla çalışan çoklu video kameralar, derinlik bilgisi sağlayan ek sensörlere sahip tek kameralı sistemler veya lazer tarayıcılar gibi çeşitli yakalama teknikleri kullanılmaktadır (Kotsifaki vd., 2022).

Hareket Analizlerinde Kullanılan Yazılımlar

Hareket analizlerinin hızlı ve güvenilir bir şekilde yapılabilmesi için, hareket verilerinin yazılımlar aracılığıyla işlenmesi ve sayısallaştırılması gerekir (Nunes vd., 2016). Bu süreçleri bir arada bulunduran birçok hareket analiz yazılımı bulunmaktadır. Bu yazılımların bazıları yalnızca kinematik, bazıları ise hem kinetik hem de kinematik analizlerin gerçekleştirilmesine olanak tanır. Hareket analizi yazılımlarının en popülerleri Kinovea, OpenSim, Dartfish, SkillSpector, Simi Motion, AnyBody, APAS (Ariel Performans Analiz Sistemi), MaxTRAQ, Qualisys ve Visual3D olarak sıralanabilir (Aktürk, 2023).

Kinovea

Kinovea, 2009 yılında geliştirilen ve araştırmacılara iki boyutlu hareket analizi yapma imkanı sunan ücretsiz, açık kaynaklı bir hareket analizi yazılımıdır. Klinik ve spor bilimlerinde yaygın olarak kullanılan bu yazılım, kinematik parametrelerin ölçülmesi ve insan hareketlerinin objektif bir şekilde analiz edilmesi amacıyla tasarlanmıştır (Puig-Diví vd., 2019). Kinovea, işaretçiler (marker) kullanılmadan hareket analizi yapılmasına olanak tanırken, pasif işaretçilerin kullanımı yazılımın güvenilirliğini artırmaktadır (Damsted vd., 2015). Kinovea yazılımıyla vücuttaki belirli noktaların yörüngesi video kaydı üzerinden takip edilerek; kare kare uzaklık, açı ve koordinatların doğrusal ve/veya açısal hız ve ivmeleri hesaplanabilir (Balsalobre-Fernandes vd., 2014; Hisham vd., 2017). Bu yazılımda kamera-olgu düzleminin dik olmadığı pozisyonlarda da ölçüm ve kalibrasyon yapılabildiğinden, hareket analizleri farklı perspektiflerden de gerçekleştirilebilir (Puig-Diví vd., 2019).

Kinovea yazılımı, pratik bir şekilde kullanılabilen kolay bir arayüze sahiptir (Şekil 1). Yazılımın geçerliliği ve güvenilirliği, birçok çalışma ile kanıtlanmıştır (Puig-Diví vd., 2019; Elwardany vd., 2015; Abd El-Raheem vd., 2015; Bertelsen vd., 2012). Kinovea programında doğru ve güvenilir ölçümler elde edebilmek için kullanıcıların üst düzey bir deneyime sahip olması gerekmez. Ancak literatürde programdan sağlıklı sonuçlar alınabilmesi için kurulumun önemine dikkat çekilmiştir (Baude vd., 2015).

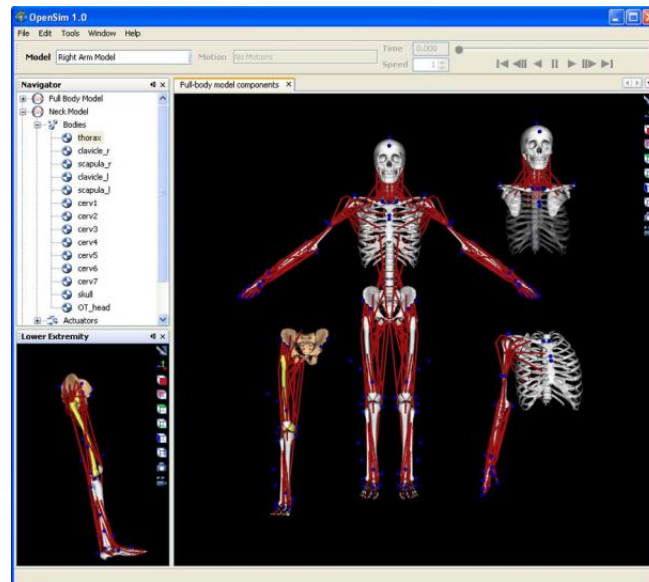


Şekil 1. Kinovea yazılımının ara yüzü (Kinovea, 2024)

OpenSim

OpenSim (Open-Source Software for Musculoskeletal Modeling and Simulation), 2007 yılında Scott Delp ve arkadaşları tarafından geliştirilen açık kaynaklı bir yazılım platformudur. Bu yazılım, kullanıcıların kas-iskelet sistemine ait bilgisayar modellerini ve dinamik hareket simülasyonlarını oluşturmalarına, değiştirilmesine ve analiz etmesine olanak tanır. Bu işlemler OpenSim'de ücretsiz olarak yapılabilir (Şekil 2), (Delp vd., 2007).

OpenSim yazılımını kullanıcıların kendi özel eklentilerini yazmalarına olanak tanır. OpenSim, Simtk.org üzerinde giderek büyüyen bir katılımcı grubu tarafından geliştirilmeye devam etmektedir. Simtk.org, biyolojik yapıların fizik tabanlı simülasyonlarına yönelik veriler, modeller ve hesaplama araçları için genel bir depo işlevi görmektedir (Delp ve ark., 2007).



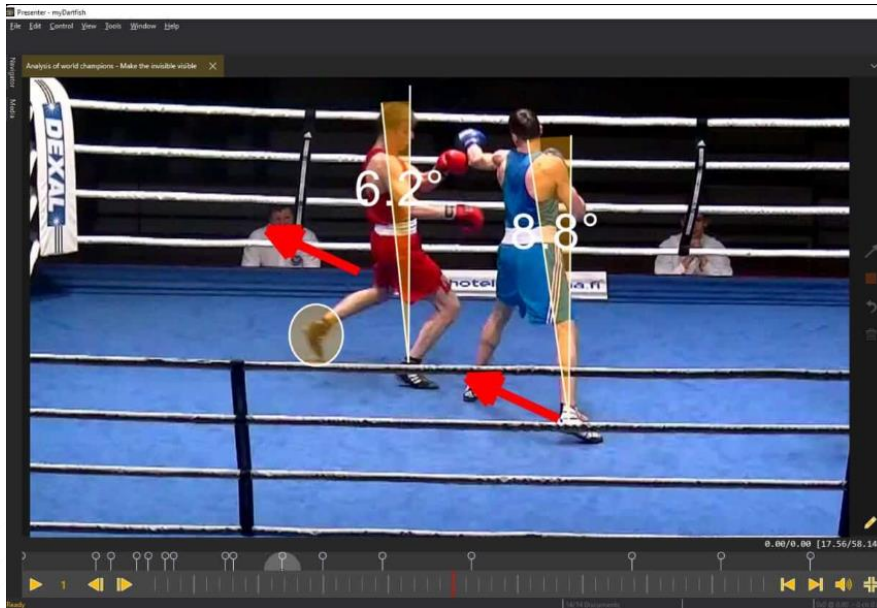
Şekil 2. Opensim yazılımında insan vücudu modeli (OpenSim, 2024)

OpenSim'de hareket analizi ve simülasyon yapabilmek için belirli verilere ihtiyaç vardır. Bu veriler, genellikle üç boyutlu hareket yakalama sistemleri ve kuvvet platformlarından sağlanır (Chan, 2020). Hareket yakalama sistemleri ve kuvvet platformlarından alınan veriler doğru formatta yazılıma girilerek kinematik (pozisyon, hız, ivme) ve kinetik (kas kuvvetleri, eklem momentleri) hareket analizleri gerçekleştirilir. OpenSim'in en büyük avantajı, dinamik hareket denklemlerini manuel olarak türetme gerekliliğini ortadan kaldırarak kullanıcıların kas-iskelet modelleri oluşturmasına ve statik optimizasyon yöntemiyle kas kuvvetlerini hesaplamasına olanak tanınmasıdır (Delp ve ark., 2007).

Dartfish

Dartfish (Dartfish, Fribourg, İsviçre), iki boyutlu kinematik analizlerin yapılabildiği video tabanlı bir izleme ve analiz yazılımıdır. Bu yazılım, kişisel cihazlarda uygulama olarak kullanılabilen, uzmanlık gerektirmeyen bir araçtır. Dartfish yazılımı vücut pozisyonu ve hareket analizi hakkında hızlı geri bildirim sağlamak amacıyla klinik ve spor bilimleri alanında yaygın olarak tercih edilmektedir (Kassay vd., 2021).

Dartfish çeşitli kaynaklardan gelen videoların analizine olanak tanır ve hareketin mekansal ve zamansal analizini kolaylaştırmak için kinematik çıktılar sağlar. Bu yazılım, video üzerinden bir hareketle ilgili x ve y mekansal koordinatları, hareket aralığı, hız, ivme, frekans ve hareket süresi gibi çeşitli hareket parametreleri hakkında bilgiler sunar (Şekil 3), (Khadilkar vd., 2014).



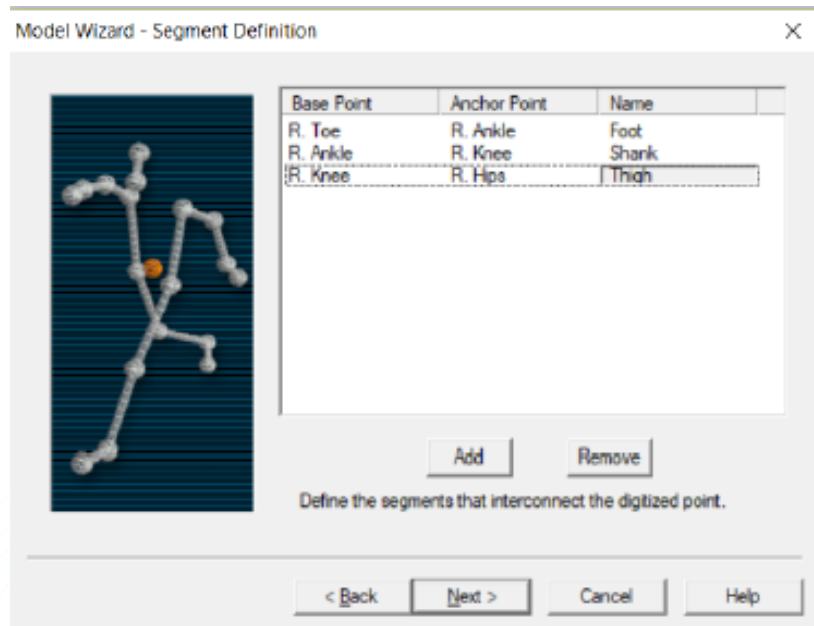
Şekil 3. Dartfish uygulaması ara yüzü (Dartfish, 2024)

Dartfish'in hem üst hem de alt ekstremite hareketlerini değerlendirmede geçerli ve güvenilir bir yazılım olduğu kanıtlanmıştır (Melton ve ark., 2011; Norris ve ark., 2011; Kassay ve ark., 2021). Ayrıca Dartfish, bireylerin karmaşık fonksiyonel görevler (örneğin, yürüme, yük kaldırma) ve spor aktiviteleri (örneğin, hızlı yürüme, sprint) sırasında performanslarını değerlendirmek amacıyla da kullanılmaktadır (Borel vd., 2011; Allen vd., 2012; Haugen vd., 2012; Padulo vd., 2013).

SkillSpector

Video4coach tarafından geliştirilen SkillSpector, dijital kameralarla kaydedilen görüntülerin iki veya üç boyutlu çevrimdışı takibini ve analizini yapmaya olanak tanıyan ücretsiz bir yazılımdır. Bu yazılım, işaretçi (marker) yörüngelerini takip ederek kinematik veriler elde edilmesini sağlar ve aynı zamanda hareket simülasyonu yapılmasına da imkan tanır.

SkillSpector'da insan vücudu, vücut segmentleri (örneğin, ayak, bacak, uyluk) ve bu segmentleri birbirine bağlayan eklemler (örneğin, ayak bileği, diz) kullanılarak basitleştirilmiş bir model olarak temsil edilir (Şekil 4). Yazılım, hareket verilerinden doğrusal hız, açısal hız, doğrusal ivme, açısal ivme ve eklem açıları gibi kinematik bilgileri hesaplayabilir (Chan, 2020).



Şekil 4. SkillSpector yazılımı arayüzü ve örnek model oluşturma (Chan, 2020)

SkillSpector yazılımı kinematik analiz yapmak amacıyla birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. Silvestre vd. (2019), alt ekstremitelerde ağırlık kullanımının yürüyüş üzerindeki etkilerini; Chagas vd. (2013), Brezilyalı çocukların yürüyüş kinematiği parametrelerini; Mirmoezzi vd. (2015), serbest atışların kinematik verilerini; Nemtsev vd. (2015), uzun atlamada kalkış özelliklerini analiz etmek için SkillSpector yazılımını kullanmıştır. Ayrıca, Omorczyk vd. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, SkillSpector yazılımı kullanılarak kinematik analizlerin yanı sıra potansiyel ve kinetik enerji gibi sınırlı kinetik analizler de gerçekleştirilmiştir.

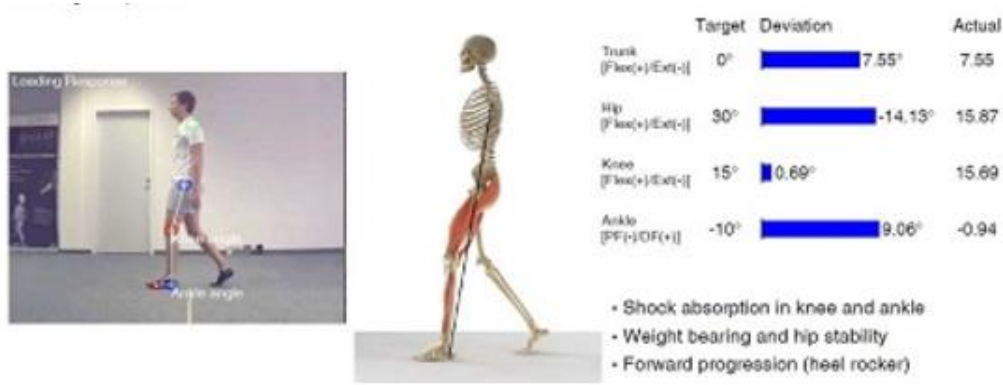
Simi Motion

Simi Motion, spor ve sağlık bilimlerinde hareket analizi ve biyomekanik çalışmalar için yaygın olarak kullanılan gelişmiş bir yazılımdır. İki ve üç boyutlu hareket yakalama ve analiz imkanı sunan bu yazılım, video tabanlı hareket verilerinin detaylı şekilde incelenmesini sağlar (De Vries ve Fong, 2006).

Simi Motion, hem işaretleyicili (marker) hem de işaretleyicisiz hareket takibi ve analizi yapabilme özelliğine sahiptir. Manuel veya otomatik işaret noktası tanıma ve izleme yöntemleri ile çalışabilen bu yazılım, doğru ve güvenilir kinematik parametreler sağlamada etkili bir araçtır (Winiarski, 2003; Yi, 2013).

Simi Motion yazılımı, kamera, kuvvet platformu, elektromiyografi, gonyometre, ivme ölçer veya basınç sensörleri gibi birçok harici cihazdan gelen verileri hızlı ve senkronize bir şekilde kaydedebilme özelliğine sahiptir. Yazılım, iki veya üç boyutlu veri analizi ve değerlendirmesi

sırasında filtreleme, düzeltme ve aritmetik hesaplama gibi işlemleri çeşitli algoritmalar kullanarak gerçekleştirebilir. Elde edilen analiz sonuçları, tablolar, diyagramlar, çöp adam figürleri veya görüntü dizileri şeklinde görselleştirilebilir, bu da kullanıcıya hareket ve biyomekanik analiz süreçlerinde güçlü bir görsel destek sunar (Şekil 5), (Winiarski, 2003).

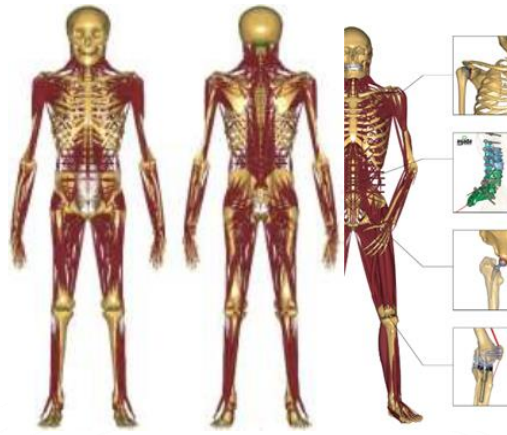


Şekil 5. Simi Motion arayüzü ve analiz örneği (Simi Motion, 2024)

AnyBody

AnyBody modelleme sistemi, bilgisayar tabanlı çalışan, ücretli bir kas-iskelet modelleme ve analiz yazılımıdır. Bu yazılımla, kinematik ve dinamik simülasyonlar gerçekleştirilerek hareketler analiz edilebilir (Bassani vd., 2017). AnyBody yazılımıyla, hareket ve yer reaksiyon verileri kullanılarak, ters dinamik (inverse dynamics) yöntemiyle kas kuvvetleri, kas aktivasyonları, eklem hareket açıklıkları, eklem momentleri ve eklem reaksiyon kuvvetleri hesaplanabilir. Analiz süreci, belirli bir hızda hareket eden bir vücut segmentinin etkilerinin değerlendirilmesi ve bu hareketi sağlamak için gereken kuvvet miktarının belirlenmesiyle gerçekleştirilir. Ayrıca, hesaplanan kas kuvvetlerinden hareketle, bu kuvvetlerin eklemlerde oluşturduğu tepki kuvvetleri de detaylı olarak analiz edilebilir (Rasmussen ve ark., 2003).

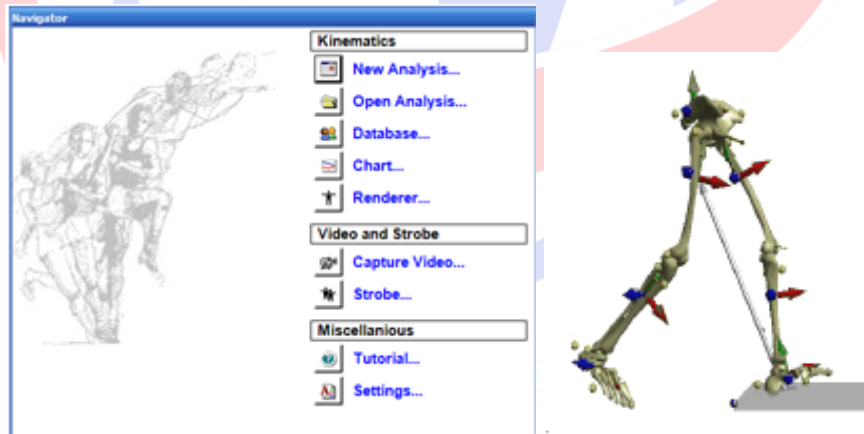
AnyBody modelleme sistemi, insan fizyonomisine uygun olarak tasarlanmış bir yazılımdır ve kemikler, eklemler, bağlar ile yaklaşık 1000'den fazla bağımsız kas demetinin tanımlandığı hazır ve tümleşik bir insan modeli ile kullanıcılarına sunulmaktadır (Şekil 6). Bu model, kullanıcıların biyomekanik analizler yaparken detaylı ve doğru simülasyonlar gerçekleştirmelerini ve biyomekanik analizlerde geniş bir kullanım alanına sahip olmalarını sağlar (Rasmussen vd., 2003).



Şekil 6. AnyBody yazılımında insan vücudu modeli (AnyBody, 2024)

APAS

APAS video tabanlı biyomekanik analizler için geliştirilmiş bir hareket analizi yazılımıdır ve hem iki boyutlu hem de üç boyutlu analiz yapma imkanı sunar. Yazılım, otomatik, yarı otomatik ve manuel sayısallaştırma işlemlerini gerçekleştirebilme özelliğine sahiptir. APAS yazılımı kamera, kuvvet platformu ve elektromiyografi gibi çeşitli harici cihazlardan gelen verilerin hızlı ve senkronize bir şekilde kaydedilmesini sağlar. Bu yazılımla, insan vücudu kas, yerçekimi, eylemsizlik ve tepki kuvvetlerinin etkisi altındaki hareketli segmentlerden oluşan bir mekanik sistem olarak modellenilebilir. İnvaziv olmayan bu sistem, kablo veya sensör gerektirmez. APAS yazılımı, kullanımı kolay bir arayüze sahiptir ve bilgisayar veya veri işleme konusunda özel bir bilgi gerektirmez (Şekil 7). Analiz sürecinde, her noktada kullanıcıya anında erişilebilen yardım ekranları ve işlev menüleriyle destek sunulur (APAS, 2024).



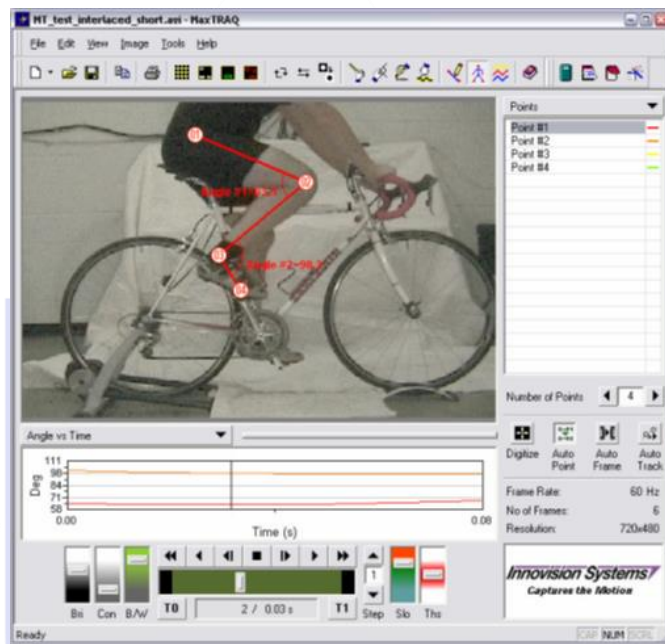
Şekil 7. APAS yazılımı arayüzü (APAS, 2024)

MaxTRAQ

MaxTRAQ, biyomekanik analizlerde kullanılan, kullanımı kolay ve düşük maliyetli bir hareket analizi yazılımıdır. MaxTRAQ, MaxTRAQ 2D ve MaxTRAQ 3D olmak üzere iki versiyona

sahiptir. Bu versiyonlarla, hareketin iki boyutlu veya üç boyutlu video tabanlı takibi yapılabilir. Yazılım, MPEG veya AVI formatındaki video kayıtlarını analiz edebilir. Hareketin takibi, hedeflere göre otomatik veya manuel olarak gerçekleştirilebilir. Veri işleme, araştırmanın başında kolay bir şekilde kurulabilir (Galeru, 2008).

MaxTRAQ yazılımı ile hareket analizi sırasında, 4 kamera senkronize edilebilir ve 99 işaretçiye kadar verilerle C3D ve ASCII dosyaları oluşturulabilir. Bu yazılım, kapsamlı kalibrasyon testleri sonrasında çok yüksek bir doğruluk elde edebileceğini göstermektedir; bu doğruluk, metre küpte 1 mm'nin altına kadar inebilir (Galeru, 2008).

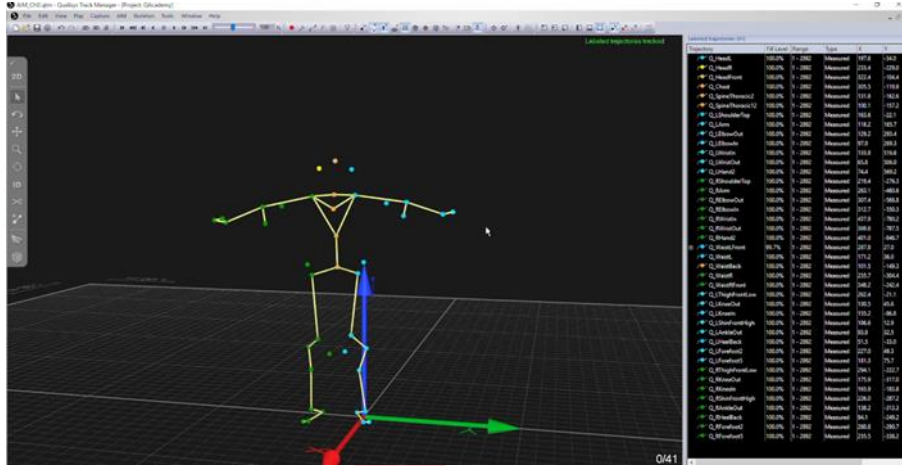


Şekil 8. MaxTRAQ yazılımı arayüzü (MaxTRAQ, 2024)

Qualisys Track Manager

Qualisys Track Manager (QTM), Qualisys (Göteborg, İsveç) tarafından geliştirilmiş bir hareket yakalama yazılımıdır ve kullanıcılara hızlı, geçerli, doğru ve güvenilir veri toplama imkanı sunar. QTM, iki veya üç boyutlu hareket verilerini gerçek zamanlı olarak işleyebilir. Yazılım, hareket analizi sistemine bağlı olan kamera sayısını otomatik olarak algılar ve bu kameralar iç veya dış mekanlarda, havada veya su altında kullanılabilir. QTM, pasif ve aktif işaretleyicilerle uyumludur ve gerçek zamanlı veya işlem sonrası tutarlı analizler yapılmasını sağlar. Yazılım, otomatik işaretleyici tanımlama sistemi kullanarak işaretleyicilerin kolayca tanımlanmasını mümkün kılar. Ayrıca, kuvvet platformu ve elektromiyografi gibi analog veriler de QTM ile işlenebilir. Toplanan veriler farklı formatlarda kolayca dışa aktarılabilir ve konum, açı, hız, ivme, mesafe ve eklem momentleri gibi özel hesaplamalar yapılabilir (Qualisys, 2024).

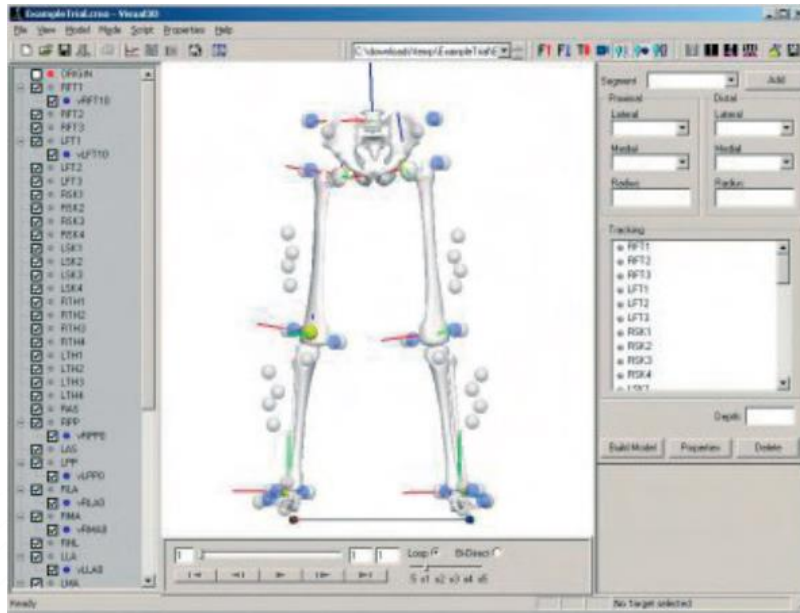
Qualisys, farklı boyut ve şekillerde aktif, pasif, hafif ağırlıklı işaretleyiciler ve yürüyüş analizi için özel olarak tasarlanmış küme işaretleyicileri sunmaktadır. Bu işaretleyiciler, birbirlerine bağlanarak kemik modeli oluşturmak için kullanılır (Şekil 9). QTM tarafından yakalanan veriler (statik ve dinamik), kemik modelinin oluşturulmasından sonra yazılım tarafından analiz edilir. Analizler, fleksiyon/ekstansiyon, abduksiyon/addüksiyon ve vertikal rotasyon gibi hareketleri X, Y ve Z eksenlerine göre gerçekleştirilebilir (Qualisys, 2024).



Şekil 9. Qualisys Track Managerde oluşturulan insan modeli (Qualisys, 2024)

Visual 3D

Visual3D, C-Motion Inc. tarafından tasarlanmış bir hareket analizi yazılımıdır ve hareket yakalama sistemleri (Vicon, OptiTrack, Qualisys vb.) ile entegre çalışır. Bu yazılım, hareket verilerini işleme ve analiz etme imkanı sunar. Visual3D, katı segmentlerin tanımlanmasına ve birbirine bağlanmasına olanak tanıyan esnek bir biyomekanik modelleme aracıdır. Üç boyutlu modeller kullanarak kas-iskelet sistemi analizleri ve kinematik hesaplamalar yapılabilir. Ayrıca, kuvvet platformlarından gelen yer reaksiyon kuvvetleri vektör okları olarak görselleştirilebilir. Elektromiyografi sinyalleri de analiz edilerek kas aktivasyonları hakkında daha fazla bilgi elde edilebilir. Visual3D, otomatik işaretleyici tanımlama sistemi kullanarak işaretleyicilerin kolayca tanımlanmasını sağlar. Yazılımla veriler gerçek zamanlı olarak görüntülenebilir ve analiz edilebilir. Ayrıca, hareketli grafikler oluşturulabilir ve ters kinematik ile ters dinamik sonuçlar anında elde edilebilir (Visual3D, 2024).



Şekil 10. Visual3D yazılımı arayüzü (Visual3D, 2024)

Sonuç

Son yıllarda, hareket analizi yazılımları biyomekanik ve spor bilimlerinde kritik öneme sahip araçlar haline gelmiştir. Bu yazılımlar, akademik araştırmalar ve klinik uygulamalarda doğru ve güvenilir veriler sağlayarak, bireylerin hareket performansını değerlendirme ve iyileştirme süreçlerine önemli katkılar sunmaktadır. Hareket analizi yazılımının seçimi, yapılacak analiz türü, araştırmanın amacı, kullanılacak ekipmanlar, fiyat ve lisanslama gibi faktörler dikkate alınarak titizlikle yapılmalıdır.

Kaynakça

- Abd El-Raheem, R. M., Kamel, R. M., & Ali, M. F. (2015). Reliability of using Kinovea program in measuring dominant wrist joint range of motion. *Trends in Applied Sciences Research*, 10(4), 224.
- Aktürk, S. (2023). *İnsan uzuvlarındaki eklem momentlerinin derin öğrenme yöntemiyle video görüntüleri üzerinden tahmini* (Yülsek Lisans Tezi). Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya.
- Allen, J. L., James, C., & Snodgrass, S. J. (2012). The effect of load on biomechanics during an overhead lift in the WorkHab Functional Capacity Evaluation. *Work*, 43(4), 487-496.
- AnyBody. (2024). Retrieved from <https://www.anybodytech.com/> (Accessed on 05 November 2024).
- APAS. (2024). Retrieved from <https://www.arielnet.com/> (Accessed on 7 November 2024).
- Balsalobre-Fernández, C., Tejero-González, C. M., del Campo-Vecino, J., & Bavaresco, N. (2014). The concurrent validity and reliability of a low-cost, high-speed camera-based method for measuring the flight time of vertical jumps. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(2), 528-533.
- Bassani, T., Stucovitz, E., Qian, Z., Briguglio, M., & Galbusera, F. (2017). Validation of the AnyBody full body musculoskeletal model in computing lumbar spine loads at L4L5 level. *Journal of Biomechanics*, 58, 89-96.
- Baude, M., Hutin, E., & Gracies, J. M. (2015). A bidimensional system of facial movement analysis conception and reliability in adults. *BioMed Research International*, 2015(1), 812961.
- Bertelsen, M. L., Jensen, J. F., Nielsen, M. H., Nielsen, R. O., & Rasmussen, S. (2013). Footstrike patterns among novice runners wearing a conventional, neutral running shoe. *Gait & posture*, 38(2), 354-356.

- Borel, S., Schneider, P., & Newman, C. J. (2011). Video analysis software increases the interrater reliability of video gait assessments in children with cerebral palsy. *Gait & posture*, 33(4), 727-729.
- Chagas, D.D.V., Leporace, G., Praxedes, J., Carvalho, I., Pinto, S., & Batista, L. A. (2013). Analysis of kinematic parameters of gait in Brazilian children using a low-cost procedure. *Human Movement*, 14(4), 340-346.
- Chan, Y. (2020). *Human gait modelling and analysis*. Universiti Tunku Abdul Rahman.
- Cimolin, V., & Galli, M. (2014). Summary measures for clinical gait analysis: A literature review. *Gait & posture*, 39(4), 1005-1010.
- Damsted, C., Nielsen, R. O., & Larsen, L. H. (2015). Reliability of video-based quantification of the knee-and hip angle at foot strike during running. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 10(2), 147.
- Dartfish. (2024). Retrieved from <https://www.dartfish.com/motion> (Accessed on 02 November 2024).
- De Vries, J. I. P., & Fong, B. F. (2006). Normal fetal motility: an overview. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology: The Official Journal of the International Society of Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*, 27(6), 701-711.
- Delp, S. L., Anderson, F. C., Arnold, A. S., Loan, P., Habib, A., John, C. T., Guendelman, E. & Thelen, D. G. (2007). OpenSim: open-source software to create and analyze dynamic simulations of movement. *IEEE transactions on biomedical engineering*, 54(11), 1940-1950. <https://doi.org/10.1109/TBME.2007.901024>
- Dönmez, G., Ak, E., Ödek, U., Özberk, N., & Korkusuz, F. (2014). Sporda hareket analizi. *Türk Ortopedi ve Travmatoloji Birliği Derneği (TOTBİD) Dergisi*, 13, 369-380.
- Elwardany, S. H., Eleiny, K. E. A., & Arabia, S. (2015). Reliability of Kinovea computer program in measuring cervical range of motion in sagittal plane. *Open Access Library Journal*, 2(09), 1
- Galeru, O. (2008). Implicarea Mijloacelor Tehnice Moderne În Metodica De Predare, Învatare A Tehnicii De Înot Sportiv. *Gymnasium*, 9(14), 212.
- Hamill, J., & Knutzen, K. M. (2006). *Biomechanical basis of human movement*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Haugen, T. A., Tønnessen, E., & Seiler, S. K. (2012). The difference is in the start: impact of timing and start procedure on sprint running performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(2), 473-479.
- Hisham, N. A. H., Nazri, A. F. A., Madete, J., Herawati, L., & Mahmud, J. (2017). Measuring ankle angle and analysis of walking gait using kinovea.
- Kassay, A. D., Daher, B., & Lalone, E. A. (2021). An analysis of wrist and forearm range of motion using the Dartfish motion analysis system. *Journal of Hand Therapy*, 34(4), 604-611.
- Khadilkar, L., MacDermid, J. C., Sinden, K. E., Jenkyn, T. R., Birmingham, T. B., & Athwal, G. S. (2014). An analysis of functional shoulder movements during task performance using Dartfish movement analysis software. *J International Journal of Shoulder Surgery*, 8(1), 1-8.
- Kinovea. (2024). Retrieved from <https://www.kinovea.org/> (Accessed on 01 November 2024).
- Kotsifaki, A., Van Rossom, S., Whiteley, R., Korakakis, V., Bahr, R., Sideris, V., & Jonkers, I. (2022). Single leg vertical jump performance identifies knee function deficits at return to sport after ACL reconstruction in male athletes. *British journal of sports medicine*, 56(9), 490-498.
- Lopez Elvira, J. L., Lopez Plaza, D., Lopez Valenciano, A., & Alonso Montero, C. (2017). Influence of footwear on foot movement during walking and running in boys and girls aged 6-7. *Retos-Nuevas Tendencias En Educacion Fisica Deporte Y Recreacion*, (31), 128-132.
- Marqués, L., Cela, J., and Gisbert, M. Pre-service Physical Education Teachers' self-management ability: a training experience in 3D simulation environments. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, (32), 30-34.
- MaxTRAQ. (2024). Retrieved from <https://maxtraq.software.informer.com/> (Accessed on 08 November 2024).
- Melton, C., Mullineaux, D. R., Mattacola, C. G., Mair, S. D., & Uhl, T. L. (2011). Reliability of video motion-analysis systems to measure amplitude and velocity of shoulder elevation. *Journal of Sport Rehabilitation*, 20(4), 393-405.
- Mirmoezzi, M., Sadeghi, H., Rahimi, A., & Khazaeli, M. (2015). Comparison of Kinematic Characteristics of Body Motion in Free Throws and Jump Shots of Basketball Adult Players. *International Journal of Sport Sciences*, 2(6), 15-19.
- Nemtsev, O.B., Nemtseva, N.A., Kozlov, I.S., Doronin, A.M. and Shubin, M.S. (2015). Biomechanical analysis of the best and the worst trials of takeoff in long jump among the combine events athletes.

- Norris, B. S., & Olson, S. L. (2011). Concurrent validity and reliability of two-dimensional video analysis of hip and knee joint motion during mechanical lifting. *Physiotherapy Theory and Practice*, 27(7), 521-530.
- Nunes, J. F., Moreira, P. M. ve Tavares, J. M. R. (2016). Human motion analysis and simulation tools: a survey. In *Handbook of research on computational simulation and modeling in engineering*. IGI Global.
- Omorczyk, J., Nosiadek, L., Nosiadek, A. & Chwała, W. (2014). Use of biomechanical analysis for technical training in artistic gymnastics using the example of a back handspring. *Selected problems of biomechins of sports and rehabilitation* (pp 2).
- OpenSim. (2024). Retrieved from <https://simtk.org/projects/opensim> (Accessed on 02 November 2024).
- Padulo, J., Annino, G., Tihanyi, J., Calcagno, G., Vando, S., Smith, L., ... & D'ottavio, S. (2013). Uphill racewalking at iso-efficiency speed. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(7), 1964-1973.
- Pueo, B. (2016). High speed cameras for motion analysis in sports science. *Journal of Human Sport and Exercise*, 11(1), 53-73.
- Puig-Divi, A., Escalona-Marfil, C., Padullés-Riu, J. M., Busquets, A., Padullés-Chando, X., & Marcos-Ruiz, D. (2019). Validity and reliability of the Kinovea program in obtaining angles and distances using coordinates in 4 perspectives. *PloS one*, 14(6), e0216448.
- Qualisys. (2024). Retrieved from <https://www.qualisys.com/software/qualisys-track-manager/> (Accessed on 05 November 2024).
- Rasmussen, J., Dahlquist, J., Damsgaard, M., de Zee, M., & Christensen, S. T. (2003, August). Musculoskeletal modeling as an ergonomic design method. In *International Ergonomics Association XVth Triennial Conference* (Vol. 2003, pp. 24-29).
- Silvestre, G., Mataloto, J., Borges, D., Conceição, A., Louro, H., & Branco, M. (2019). Analysis of the human walking gait with and without external weight added on lower limbs of physically active individuals. *Motricidade*, 15, 69-69.
- Simi Motion. (2024). Retrieved from <https://simi.com/en/> (Accessed on 02 November 2024).
- Thomas, J., Hall, J. B., Bliss, R., & Guess, T. M. (2022). Comparison of Azure Kinect and optical retroreflective motion capture for kinematic and spatiotemporal evaluation of the sit-to-stand test. *Gait & Posture*, 94, 153-159.
- Visual3D. (2024). Retrieved from <https://basset biomechanics.com/visual3d/> (Accessed on 07 November 2024).
- Winiarski, S. (2003). Human locomotion analysis technique with SIMI Motion. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 5(1), 544-50.
- Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement*. John wiley & sons.
- Wren, T. A., Tucker, C. A., Rethlefsen, S. A., Gorton III, G. E., & Öunpuu, S. (2020). Clinical efficacy of instrumented gait analysis: Systematic review 2020 update. *Gait & Posture*, 80, 274-279.
- Yi, G. A. O. (2013). Studies on Using Simi Motion Capture System in Gait Recognition. *Chinese Journal of Forensic Sciences*, 67(2), 66.



Bu eser [Creative Commons Atf-GayriTicari 4.0 Uluslararası Lisansı](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) ile lisanslanmıştır.