



Spor Biyomekaniğinde ve Üç Boyutlu Hareket Analizinde Sayısal Fotogrametrinin Kullanılması

Mustafa Caniberk¹, Faik Ahmet Sesli², Cem Çetin³

¹Harita Genel Komutanlığı, Fotogrametri Dairesi, Ankara, Turkey

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Harita Mühendisliği, Samsun, Turkey

³Süleyman Demirel Üniversitesi, Spor Hekimliği Abd, Isparta, Turkey

ÖZ

Hareketin bilimsel olarak kaydedilmesi ve değerlendirilerek geri dönüş verilmesi sporun ve spor eğitiminin vazgeçilmez unsurudur. Sporda hareket analizinin laboratuvar ortamı dışında gerçekleştirilmesi, sporun doğası gereği olan hareketlerin kısıtlanması ve gözlenememesi gibi olumsuz etkileri en aza indirmemizi sağlayacaktır. Sporcu hareketlerinin video kaydedici sistemlerle izlenmesi ve fotogrametrik yöntemlerle analiz edilmesi günümüzde farklı disiplinlerin araştırma alanlarıyla çakışmakta ve birçok uygulamada başarılı sonuçlar vermektedir. Fotogrametrik teknikler görüntülerden objelerin ölçülmesi ve yorumlanması esasına dayanır. Kamera kalibrasyonu veya kamera üreticisi firmaların belirlediği değerler ile kamera parametreleri matematiksel olarak belirlenmektedir. Sonrasında ise görüntü koordinatları ve üç boyutlu uzay koordinatları arasındaki analitik ilişki modellenerek dönüşüm yapılır. Böylelikle fiziksel temas kurmadan cisimler modellenen ve onlara ait metrik bilgiler elde edilebilmektedir.

Sporcunun hareketini tamamlamasının ardından hareketin üç boyutlu ve gerçek zamanlı olarak gösterilebilmesi konusu günümüzde gittikçe önem kazanmaktadır. Bu derlemede sporcu hareketlerinin fotogrametrik yöntemlerle belirlenmesi daha önce gerçekleştirilmiş araştırmalar ışığında incelenmiştir. Bu incelemelerin sonucunda sporcu hareketlerini gerçek zamanlı analiz edebilecek bir sistemin tasarımı yapılmıştır.

Anahtar sözcükler: Hareket Analizi, Sayısal Fotogrametri, Biyomekanik

Use of Digital Photogrammetry in 3D Motion Analysis and Biomechanics of Sports

ABSTRACT

Scientifically recording a movement and giving feedback by evaluating it is an indispensable element of the sports and sports education. In sports, making the movement analysis outside the laboratory environment would allow us to minimize the adverse effects, such as restrictions and unobservability of the movements due to nature of the sports. Today, monitoring of athletes' movements using video recorder systems and analyzing them by photogrammetric methods overlap different disciplines in terms of study area and reveal

quite successful results in many applications. The photogrammetric techniques are based on the measurement and interpretation of the objects from images. The camera parameters are mathematically determined using the camera calibration or the values specified by the camera-manufacturing companies. Then the analytical relationship between the image coordinates and the three-dimensional space coordinates is modelled and the conversion process is performed. This allows to model objects without making physical contact and, thus, to obtain their metric information.

Nowadays, the three-dimensional and real-time display of a movement of the athlete is getting more important. This review aims to examine identification of athlete movements through photogrammetric methods in the light of previously conducted researches. Depending on the information obtained from these studies, a system that allows for a real-time analysis of the athlete's movements is designed.

Key words: Motion Analysis, Digital Photogrammetry, Biomechanics

GİRİŞ

Hareketli objelerin takibinde veya objelerin konumsal bilgilerinin elde edilmek istendiği birçok uygulamada fotogrametrik yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır. Elde edilen konumsal veriler geniş bir yelpazede farklı analizlerin yapılması için girdi olarak kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda gerçek zamanlı/yarı gerçek zamanlı video görüntüleriyle yapılan çalışmalarda çok yüksek boyutlu veriler kullanılmakta, bu verilerden elde edilen konumsal bilgilerle biyomekanik uygulamaların yapıldığı görülmektedir.

Farklı spor branşlarında gerçekleştirilen branşa özgü hareketlerde sporcuların vücudunun belirli kemik, eklem ve kas sistemlerini kullandıkları bilinmektedir. İnsanların veya daha alt grup olan sporcuların gerçekleştirdikleri hareketlerin birçoğu bilinçli olarak öğrenilen, öğrenildikten sonra otomatikleşen hareketlerdir. Bununla birlikte bir takımında veya sporcu grubu içerisinde tüm sporcular aynı eylemi gerçekleştirirken sadece bir sporcu başarılı sayılmaktadır. Bu sporcu ister o grubun içerisinde isterse farklı bir grupta olsun sporcunun elde ettiği bu

başarı onun yaptığı hareketlerin doğruluğuyla önem kazanan bir olgudur. Bu durum kimi zaman sporcunun doğal yeteneklerinden kimi zamanda doğru hareketi öğrenmesinden kaynaklanabilmektedir. Her iki durumda da doğru olan hareketin yapıldığı gerçeği değişmez.

Günlük hayatta olduğu gibi spor etkinliklerinde de eksik veya yanlış olarak otomatikleşen hareketlerin düzeltilmesi oldukça zordur. Bir sporcunun başarısından söz edebilmek için spor etkinliğinin gerektirdiği hareketi zamanında ve doğru olarak yapması gerekmektedir. Aynı zamanda sporcular için yanlış yönde otomatikleşen hareketler neticesinde kas ve eklem sakatlıklarının oluşması kaçınılmazdır. Bu durumun doğal sonucu olarak yaralanmalar ve sakatlıklar ortaya çıkabilir. Bunun önüne geçebilmek için spor etkinliğinde doğru hareketin yapılması esnasında öne çıkan eklem ve kas hareketlerinin belirlenmesi ve sporcuların bu yönde geliştirilmesi gerekmektedir.

Sporcu eğitiminde ve spor biliminde, sporcuların branşlarına özgü yaptıkları her türlü hareketi incelemek için araştırmacılar çeşitli çalışmalar

yürütmektedir. Bu araştırmaların öncülüğünü eklem ve kasların biyomekanik [1-5] ve anatomik [6-7] analizlerinin gerçekleştirildiği çalışmalar yapmıştır.

Son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmeler, fotogrametrik yöntemlerle görüntü analizlerinin 3 boyutlu olarak gerçekleştirilmesi ve vücut hareketinin değerlendirilmesine yeni bir boyut kazandırmıştır [8-13]. Araştırmacıların gerçekleştirdikleri biyomekanik çalışmaları içeren literatür incelendiğinde, sporcuların karşılaşılabilecekleri birçok patolojik yatkınlık faktörlerinin teşhis ve tedavisinde fotogrametrik yöntemlerin geçerli olduğunu açıkça görülmektedir. [14-16].

Sayısal Fotogrametrinin Matematiksel Temelleri

“Fotogrametri, cisimlere temas etmeksizin onların yeniden oluşturulmasını ve bazı cisim özelliklerinin belirlenmesini sağlamaktır” [17].

En genel ifade biçimiyle fotogrametri, Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliğinin (ISPRS-International Society for Photogrametry and Remote Sensing) tanımına göre; “görüntülerin ve elektromanyetik enerjinin kayıt, ölçme ve yorumlanması sonucu fiziksel cisimler ve bunların çevresine ilişkin bilgileri oluşturan ve bu bilgilerin analizini yapan bir bilim dalıdır” [18].

Sayısal Fotogrametri, sayısal video veya fotoğrafların kullanıldığı fotogrametri alanıdır. Fotogrametrinin matematik modeli aşağıda belirtilen doğrusallık denklemi ile ifade edilir. Sayısal fotogrametride de bu denklemler aynen kullanılır.

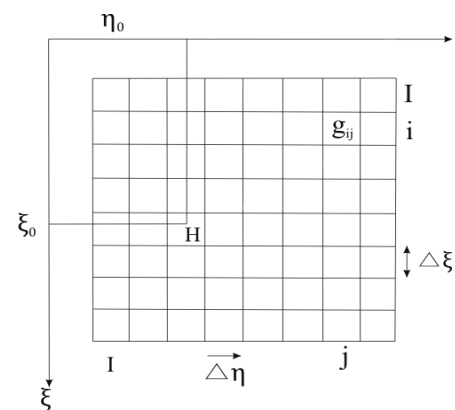
$$\xi = \xi_0 + c \frac{Y_0(Z - Z_0) + (X - X_0)(Z_0 - Z)}{f_0(Z - Z_0) + (X - X_0)(Z_0 - Z)} \quad (1)$$

$$\eta = \eta_0 + c \frac{X_0(Z - Z_0) + (Y - Y_0)(Z_0 - Z)}{f_0(Z - Z_0) + (X - X_0)(Z_0 - Z)} \quad (2)$$

Bu formüllerde; ξ, η iki boyutlu fotoğraf koordinatları x, y, z üç boyutlu model koordinatları, X, Y, Z üç boyutlu uzay koordinat sistemindeki koordinatlarıdır.

ξ_0, η_0 fotoğraf asal noktası olan H 'nin fotoğraf koordinatlarını, c kayıt cihazının kamera sabiti, X_0, Y_0, Z_0 fotoğraf çekme merkezinin fotoğraf koordinatları, ω, ϕ, κ, R dönme matrisinin üç yöndeki dönme açısıdır. İç yöneltme (ξ_0, η_0, c) ve dış yöneltme ($X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa$) elemanları merkezi izdüşürülmüş fotoğrafı tanımlarlar.

Sayısal fotoğraf M 'ci elemanları ile (iki boyutlu) bir G matrisinden oluşur. Şekil 1'de satır indeksi i birer aralıklarla I den I ya gider, yani $i=I(I) I$. sütun için ise karşılık gelen indeksleme ise $j= I(I)J$ dir. Bir fotoğraf elemanın büyüklüğü $\Delta\xi, \Delta\eta$ dir. Bir sayısal fotoğrafta piksel konumu ile ξ, η koordinat sistemi arasındaki bağıntı gereklidir. Şekil 1'de bir fotoğraf koordinat sistemi yerleştirilmiştir [17].



Şekil-1. Sayısal fotoğraf matrisi

Spor Biyomekaniği ve Hedefleri

Spor biyomekaniği, vücudun harekette hangi yolları izlediğini en karmaşık durumlarda dahi inceleyen bir bilim dalıdır [19]. Biyomekanik, insan hareketinin mekanik şartlarını araştırmakta, spora özgü harekete ait özellikleri ve hareket esnasında vücutta oluşan değişimler ölçülmektedir [20].

Biyomekanik, insan hareketi ile ilgilenen birçok farklı bilim dallarının ilgi alanına girebilmektedir. Biyomekanik ilgi alanına göre farklı amaçlarla kullanılmaktadır [21]. En önemli amacı spor sakatlıklarını önlemek ve rehabilitasyonunu sağlamaktır. Diğer bir amacı ise sportif performansın geliştirilmesidir [22].

Yürüme, sıçrama, atma ve atlama gibi aktivitelerde hareketleri tanımlamak için kullanılan terimler ve yöntemler hareket analizinde önemli yer tutar [22].

Hareket Analiz Yazılımları ve Özellikleri

Araştırmacılar insan hareketlerinin incelenmesi konusuna çok eski dönemlerden itibaren ilgi duymuşlardır. İnsan hareketlerinin modern anlamda incelendiği ilk çalışmalar Weber kardeşlerin önderliğinde 1830'lu yıllarda başlamıştır. Weber kardeşler modern yöntemlerin kullanıldığı ilk yürüyüş analiz çalışmalarını gerçekleştirmiştir [23]. Günümüzde yürütülen araştırmaların pek çoğu Winter tarafından gerçekleştirilen çalışmaların ışığında devam etmektedir [24].

Yakın resim fotogrametrisi olarak adlandırılan yöntemler ile elde edilen veriler, 1970'li yıllardan itibaren hareket analizlerinin gerçekleştirildiği sistemlerin en önemli veri kaynağını oluşturmuştur. Biyomekanik çalışmalarının öncülerinden olan Braune ve Fischer [25] insan ve sporcu hareketlerinin incelenmesinde yüksek

hızlı kayıt yapabilen sistemlerin kullanılmasını önermiştir. Teknolojideki ilerlemelere paralel olarak elektronik ve bilgisayar sistemlerinin gelişmesi sporcu hareketlerinin analizinde yeni yöntemlerin gelişmesine olanak sağlamıştır.

Fotogrametrik veri toplama sistemleri, verileri 2 boyutlu alıcı yardımıyla kaydederler. Ancak insan hareketi 3 boyutlu bir uzayda gerçekleşir. Hareket analizi için gerekli olan 3B uzaysal konum bilgisini elde edebilmek için ilgilenilen hareketin en az eşzamanlı 2 farklı görüntüsüne gereksinim vardır. Bu iki farklı görüntüden 3B uzaysal konum bilgisine geçiş Abdel-Aziz ve Karara'nın [26] Doğrudan Doğrusal Dönüşüm (DDD) yöntemini geliştirmesiyle sağlanmıştır. DDD metodunda hareket alanı ve 2 boyutlu görüntü yüzeyi arasında doğrusal dönüşümde 11 parametre kullanılır. Parametrelerin hesaplanmasında tanımlanan kontrol bölgesi içerisinde hassas olarak yerleştirilen kontrol noktalarının kullanıldığı bir kalibrasyon işlemi uygulanmaktadır. DDD metodu kullanılarak gerçekleştirilen birçok çalışmada kontrol alanı içerisinde başarılı sonuçlar alınmıştır. Ancak kontrol alanının dışına çıkılan durumlarda DDD azalan bir doğrulukla çözüm üretmektedir.

Biyomekanik, sporcu sağlığı ve sportif çalışmalar için geliştirilmiş bazı yazılımlara örnek olarak TASS (TNO Automotive Safety Solutions), LifeMOD, The AnyBody Modelling System, OpenSim ve CATIA ergonomik tasarım ve analiz modülü gösterilebilir [27]. Ayrıca pazarda çok sayıda ticari hareket analizi sistemi mevcuttur. Bunların en çok bilinenleri; APAS (Ariel Dynamics, Inc.), CODA (Charnwood Dynamics Ltd.), ELITE (Bioengineering Technology and Systems), OPTOTRACK (Northern Digital, Inc.), PEAK (Peak Performance

Technologies, Inc.), QUALISYS (Qualisys Medical AB) ve VICON (Vicon Motion Systems Ltd.) tarafından geliştirilen sistemlerdir [28].

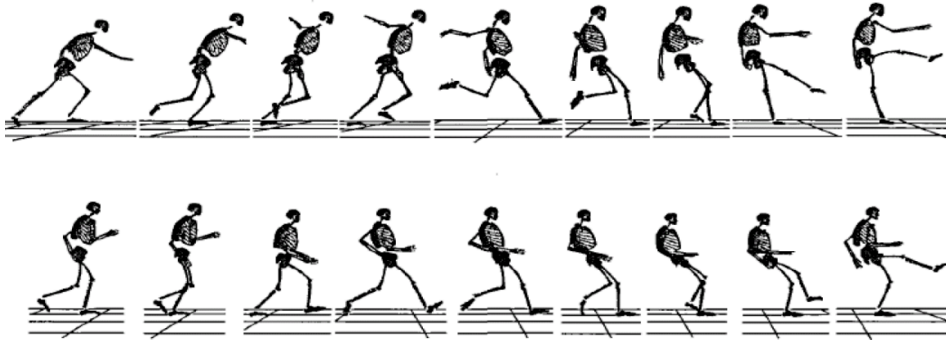
Karmaşık olmayan sporcu hareketlerinin incelenmesinde kullanılan bir diğer program ise SimMechanics yazılımıdır. SimMechanics, Simulink ve MATLAB (The MathWorks) araçlarından faydalanarak hareketin modellendiği bir yazılımdır. Her ne kadar mekanik sistemler için geliştirilmiş bir yazılım olsa da SimMechanics insan hareketinin incelendiği uygulamalarda da kullanılmıştır [29-35].

Hacettepe Üniversitesi biyomekanik araştırma grubu tarafından tasarımı gerçekleştirilen Üç Boyutlu Hareket Analizi Yazılımı (HUBAG) akademisyenler ve kas-iskelet sistemlerini analiz etmek isteyen mühendisler ve hekimler için tasarlanmış bir yazılımdır. Yazılım MATLAB ortamında çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Yazılımı ile sporcuların hareketlerinin incelenmesi ve sporcu

tekniklerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir [36].

Futbolda Hareket Analizi

Tecrübeli futbolcuların başarısında rol oynayan temel özelliklerden biri olan topa daha etkili ve hızlı vuruş yapabilmeleridir. Alttan yatan biyomekanik farklılıklar ortaya konarak, antrenman programlarının yeniden düzenlenmesi ve bilimsel veriler ışığında sportif performansın artırılabilmesi mümkün olacaktır. 2007 yılında Kawamoto [37] (Şekil-2) 10-15 yıl arasında futbol tecrübesi olan erkek futbolcular ile herhangi bir futbol eğitimi almamış benzer yaş ve fiziksel özelliklere sahip kontrol grubunun topa vuruş anını 3 boyutlu hareket analiziyle kinematik ve kinetik veriler açısından değerlendirmiştir. Temastan sonraki futbol topunun hızını belirleyen başlıca faktör, temastan hemen önceki ayağın hızıdır. Topa vuruş öncesinde ayağa ait momentumun topa istenen şekilde iletilmemesi; ayak ve ayak bileğine ait deformasyonlar ve doğru pozisyonun sağlanamamasıyla açıklanmıştır [37-38].



Şekil-2. Topa vuruş sırasında tecrübeli sporcular (üst) ve sedanterler (alt) arasında yapılan hareket analizi

Atletizmde Hareket Analizi

Bulgan [39] tarafından gerçekleştirilen çalışmada; elit ve sub-elit düzeydeki cirit atıcılarının, cirit atma tekniklerinin, biyomekaniksel analizleri yapılarak

karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada toplam 10 tane cirit sporcusu denek olarak kullanılmış, deneklerin cirit atma teknikleri taşıma ve atış evreleri olacak şekilde iki aşamada incelenmiştir. Sporcuların hareketlerinin kaydedilmesi için üç adet senkronize edilmiş 100 Hz

hızında görüntü kaydedici kamera kullanılmıştır. Çekimlere ilişkin kayıtlar kameranın veri aktarım programı ile verilerin işleneceği bilgisayara aktarılmıştır. Elde edilen görüntüler Simi Motion 6.2 isimli ticari program ile işlenerek kinematik analizler yapılmıştır. Şekil-3'de yapılan çalışmalardan bir görünüm sunulmuştur.

Sonuç olarak en uygun bir atış mesafesi için yatay düzlemde rotasyondan ziyade, sagittal (vücudu sol, sağ şeklinde ortadan ayıran) düzlemde kolun aşırı gerilmesiyle atışların gerçekleştirilmesinin sporcuya avantaj sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca taşıma evresinde gövdenin, rotasyonla atış yönünden çok fazla uzaklaştırılmasının atış hızını olumsuz etkilediği tespit edilmiştir.



Şekil-3. Cirit atıcısının atış hareketinin analizi

Buz Hokeyi Sporunda Hareket Analizi

Göktepe [40] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, buz hokeyinde sıklıkla kullanılan bir vuruş yöntemi olan "slap-shot" vuruşunda sporcunun dirsek ve diz eklemlerinin hareketin tamamındaki açısal değişimleri fotogrametrik yöntemlerle analiz edilmiştir. Diz ve dirsek kinematığının tanımlanabilmesi için farklı özelliklerde 4 buz hokeyi sporcusu belirlenmiş ve bu sporcuların vuruş hareketleri incelenmiştir.

Sporcunun slap-shot vuruşu için gerçekleştirdiği yüklem, temas ve takip evreleri birbirleri ile senkronize olarak çalışan 2 adet sayısal video kamera ile kayıt altına alınmıştır. Kayıt altına alınan bu görüntüler fotogrametrik değerlendirme için kullanılan Pictran 2.9 ticari yazılımı ile yapılmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmanın sonunda; buz hokeyi sporcularının slap-shot vuruşu sırasında dirsek ekleminin kinematığı için genel bir tanım yapılabilmektedir. Ancak benzer bir tanımlama diz eklem kinematığı için yapılamamıştır. Şekil-4'de yapılan çalışmalardan bir görünüm sunulmuştur.



Şekil-4. Buz hokeyinde slap-shot hareketinin analizi

Barfikste Ters ve Düz Devir Hareketlerinin Analizi

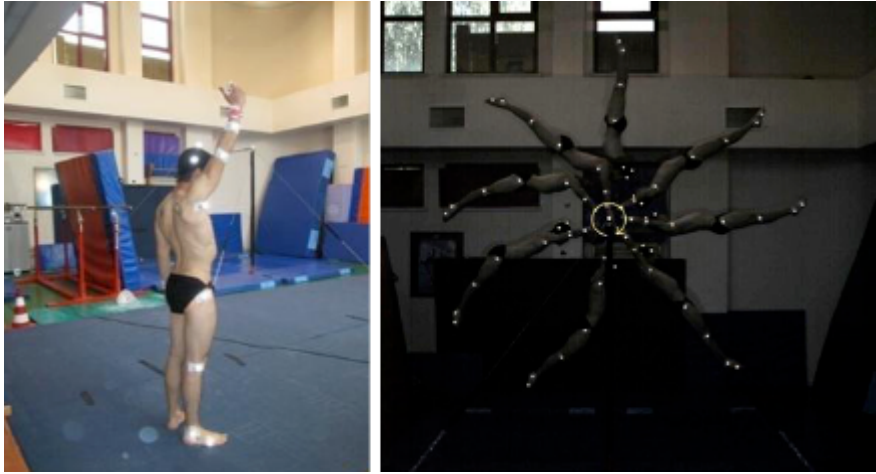
Özgören [41] tarafından gerçekleştirilen bu çalışmanın amacı, barfiks sporunda düz ve ters devir hareketlerinin kinematik ve kinetik özelliklerinin karşılaştırılmasıdır. Bu çalışma için milli kategoride spor yapmış beş adet sporcu gönüllü olmuştur. Çalışma için belirlenen gönüllü sporcular barfikste ters ve düz devir hareketlerini yapmışlardır.

Sporcuların tüm hareketleri yüksek hızlı kızılötesi filtre özellikli bir kamera ile kayıt altına alınmıştır. Sporcuların hareketlerinin daha net anlaşılması için

anatomik noktalara yansıtıcı işaretçiler yerleştirilmiştir. Hareket alanının kalibrasyonu için ise sporcunun hareketlerini gerçekleştirdiği alanı içine alacak şekilde 8 noktaya sahip bir kalibrasyon düzeneği hazırlanmıştır. Bu kalibrasyon düzeneği sporcu hareketleri sırasında sabit tutulmuştur. Bu işlemlerin ardından kayıt altına alınan her görüntüdeki yansıtıcı işaretçiler sayısallaştırılarak sporcunun hareketi modellenmiştir.

Çalışmanın sonunda jimnastikçilerin düz devir hareketini, ters devir hareketine göre daha hızlı tamamladıkları ortaya çıkmıştır. Jimnastikçilerin uçuş ve bitiriş hareketleri için yüksek açısız hızlara sahip olmaları gerekliliği göz önüne alındığında bu durum, düz devir hareketinin barfikste neden ters devir hareketine göre daha sık kullanıldığını

açıklamaktadır. Jimnastikçilerin devir hareketleri sırasında ekstremiteleri ve eklemlerinin genel davranışının benzer olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle jimnastikçilerin ortalama ekstremita ve eklem kinematığı benzeşim modelinde girdi olarak yer alarak tüm katılımcıların düz ve ters devir hareketlerini başarılı bir şekilde temsil etmiştir. Düz devirde eklem kuvvet ve momentleri literatürde belirtilen değerlerden yüksek bulunmuştur. Jimnastikçilerin ters devirde alt salınımına gelirken daha çok kuvvet harcadıkları, üst salınımında ise düz devirdekine göre daha az bir kuvvet uygulayarak amut pozisyonuna ulaştıkları görülmüştür. Şekil 5'de yapılan çalışmalardan bir görünüm sunulmuştur.



Şekil-5. Barfikste ters ve düz devir hareketinin analizi

Futbolda Penaltı Atışının Analizi

Göktepe [42] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, futbol sporunda penaltı atış hareketinin, dijital video kameralarla çekimi gerçekleştirilerek hareket adımlarının analizleri fotogrametrik yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Çekim sırasında sporcular kale üzerinde sağ alt köşede belirlenmiş 50x50cm ebadında bir tabela üzerine 11m mesafeden 10 adet penaltı atışı yapmışlardır. Bu atış sırasında

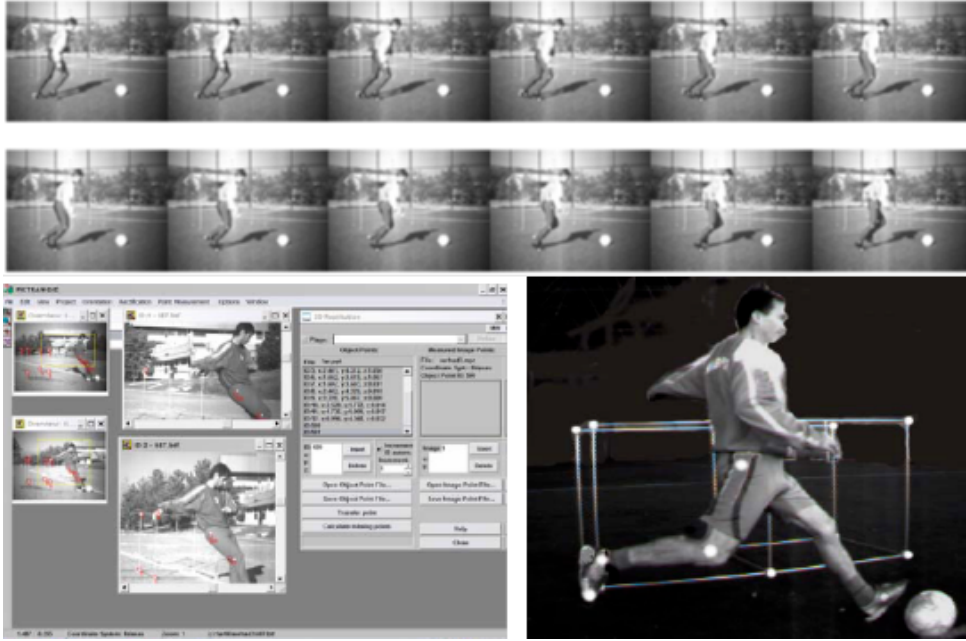
fotogrametrik görüntü analizine uygun olacak şekilde iki video kamerasının senkronize biçimde çalışması planlanmıştır. Ancak bu çalışmada kullanılan kameraların senkronlanması konusunda sıkıntılar yaşanmıştır. Ayrıca video görüntülerden gelen resimlerin çok fazla olmasından dolayı büro çalışmaları önemli ölçüde uzamıştır. Bu sebeple otomatik koordinat belirleyen bir yazılım kullanılması önerilmiştir.

Şekil-6'da yapılan çalışmalardan bir görünüm sunulmuştur.

SONUÇ

Sporcu hareketleri, kısa zaman aralıklarında ve anlık olarak gerçekleşen, teknolojik olanaklar sayesinde izlenmesi kolaylaşan, ancak

analiz edilmesi de bir o kadar karmaşıklaşan bir olgudur. Anlık hareketlerin yakalanabilmesi için kullanılan yöntemlerden birisi olan fotogrametrik yöntemlerin diğer yöntemlere göre en büyük avantajı ölçümlerin izdüşüm yöntemleri ile yapılmasıdır.



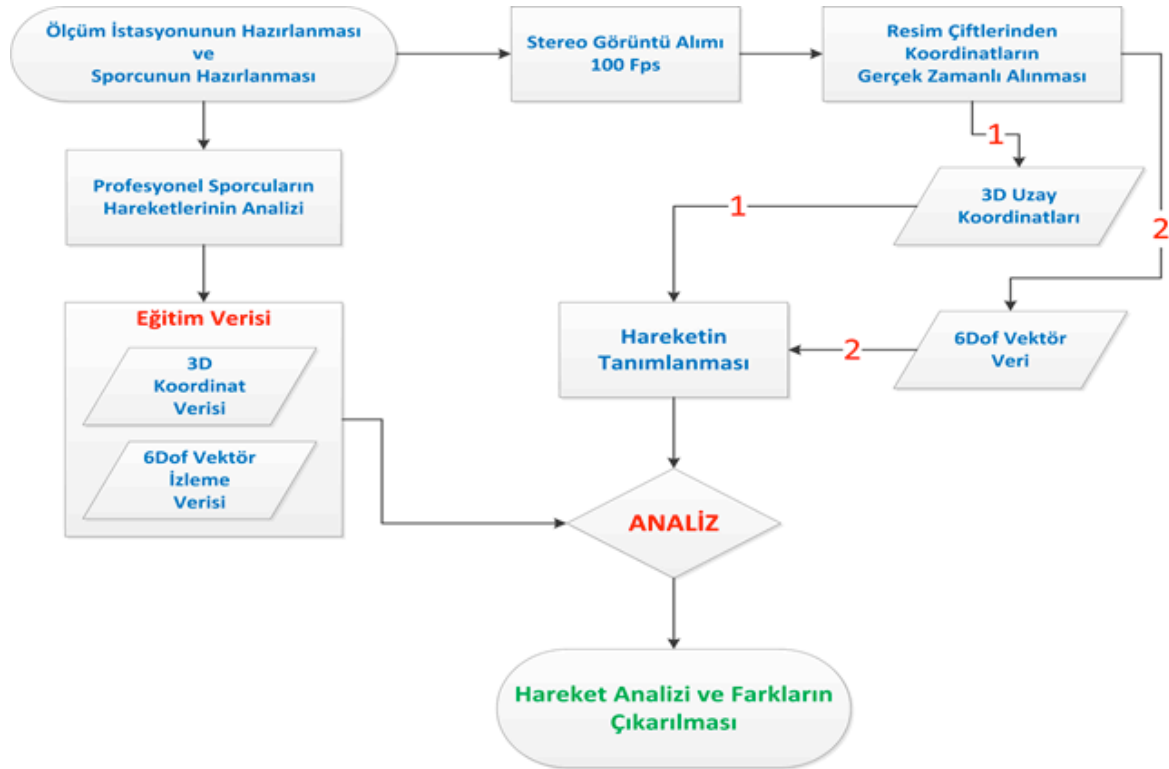
Şekil-6. Futbolda penaltı atışının analizi

Ülkemizde sporcu hareketlerinin fotogrametrik yöntemlerle analiz edildiği çalışmalar incelendiğinde, görüntü alımı ve analiz süreçlerinin birbirinden farklı zamanlarda gerçekleştirildiği görülmektedir. Yani fotogrametrik çalışmalar büroda gerçekleştirilmektedir. Ayrıca bu tarz analizlerin yapıldığı çalışmalar paket programların özellikleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu durum ticari yazılımların olanak ve yeterlilikleri ile sınırlı analizlerin yapılması sonucunu doğurmaktadır.

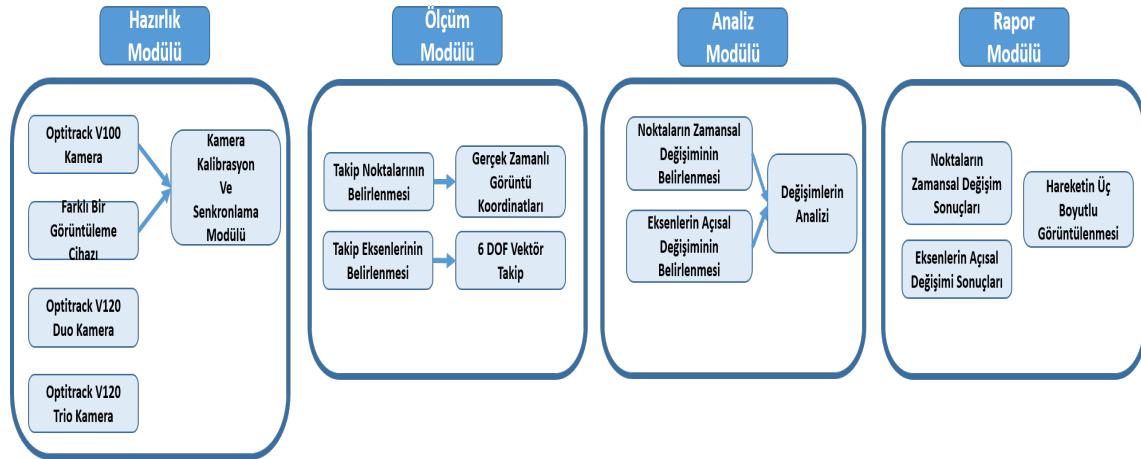
Bu inceleme ışığında tamamen BSD lisanslı ve açık kaynak kodlu bilgisayarlı görme kütüphanelerinin kullanılacağı,

aynı zamanda yazılımın gerçek zamanlı olarak ve çok az kullanıcı müdahalesi ile çalışabilecek bir yapıda geliştirileceği yöntem önerisi aşağıda paylaşılmıştır.

Şekil 7'de planlanan işlem adımlarını gerçekleştirebilmek için, Şekil 8'deki modülleri içeren bir yazılımın tasarlanması açık kaynaklı olarak kodlanması ile akademisyenlerin, biyomekanikçilerin, hekimlerin, fizyoterapistlerin, mühendislerin ve spor bilimcilerin analizlerinde kullanabileceği bir yazılım hayata geçirilmiş olacaktır. Ayrıca bu yazılım sporcuların tekniklerinin incelenmesi ve geliştirmesinde antrenörler tarafından da kullanılabilir.



Şekil-7. Sporcu hareket analiz sistemi iş akış diyagramı



Şekil-8. Fotogrametrik hareket analiz yazılımı tasarımı

Yazılımın eğitim verisi olarak kullanılacak veri seti birçok farklı spor branşının özgün hareketleri seçilerek oluşturulmalıdır. Yazılımın mimarisi de bu durumları göz önüne alarak geliştirilmelidir.

Tasarlanan yazılımın raporlama fonksiyonu ile analiz ve sporcu takibi konularında gerekli bilgi desteği sağlanmış olacaktır. Raporlama modülünün de eğiticilerin takip edeceği noktaların uzaysal konum bileşenlerinin zamana göre değişim grafiklerini

verebilecek bir yapıda olması öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- 1 Smith JG: Biomechanical analysis of knee flexion and extension. *J Biomech*, 1973; 6: 79-92.
- 2 Laubach LL: Comparative muscular strength of men and women: a review of the literature. *Aviat Space Environ Med*, 1976; 47:534-542.
- 3 Buff HU, Jones LC, Hungerford DS: Experimental determination of forces transmitted through the patello-femoral joint. *J Biomech*, 1988; 21:17-23.
- 4 Bell AL, Pederson DR, Brand D: A comparison of the accuracy of several different hip center location prediction methods. *J Biomech*, 1990; 23: 617-621.
- 5 Markolf KL, Burchfield DM, Shapiro MM, Shepard MF, Finerman GA, Slaughterbeck JL: Combined knee loading states that generate high anterior cruciate ligament forces. *J Orth Res*, 1995; 13: 930-935.
- 6 Hida S: The collateral ligaments of the elbow joint: their functional anatomy with special reference to the pathology and treatment of post-traumatic stiff elbow. *Nipp Seik Gakk Zass*, 1994; 864-877.
- 7 Bendjaballah MZ, Shirazi-Adl A, Zukor DJ: Finite element analysis of human knee joint in valgus-varus. *Clin Biomech*, 1997; 12: 139-148.
- 8 Ambrosio J, Lopes G, Costa J, Abrantes J: Spatial reconstruction of the human motion based on images of a single camera. *J Biomech*, 2001; 34: 1217-1221.
- 9 Awan R, Smith J, Boon AJ: Measuring Shoulder Internal Rotation Range of Motion: A Comparison of 3 Techniques. *Arch Phys Med Rehabil*, 2002; 83: 1229-1234.
- 10 Pers J, Bon M, Kovacic S, Sibilo M, Dezman B: Observation and analysis of large-scale human motion. *Human Mov Sci*, 2002; 21: 295-311.
- 11 Cerveri P, Pedotti A, Ferrigno G: Robust recovery of human motion from video using Kalman filters and virtual humans. *Human Mov Sci*, 2003; 22: 377-404.
- 12 Krosshaug T, Bahr R: A model-based image-matching technique for three-dimensional reconstruction of human motion from uncalibrated video sequences. *J Biomech*, 2005; 38: 919-929.
- 13 Tsuruoka Y, Tamura Y, Shibasaki R, Tsuruoka M: Analysis of walking improvement with dynamic shoe insoles using two accelerometers. *Physica A*, 2005; 352: 645-658.
- 14 Ramsey DK, Wretenberg PF: Biomechanics of the knee: methodological considerations in the in vivo kinematic analysis of the tibiofemoral and patellofemoral joint. *Clinical Biomechanics (Bristol Avon)*, 1999; 14 595-611.
- 15 Kaptein BL, Valstar ER, Stoel BC, Rozing PM, Reiber JH: Evaluation of three pose estimation algorithms for model-based roentgen stereophotogrammetric analysis. *Proceedings Institution of Mechanical Engineers*, 2004; Part H 218 231-238.
- 16 Wong Y, Kim W, Ying N: Passive motion characteristics of the talocrural and the subtalar joint by dual euler angles. *Journal of Biomechanics*, 2005; 38 2480-2485 doi:10.1016/j.jbiomech.2004.10.033.
- 17 Kraus K: Fotogrametri Cilt 1 Nobel Dağıtım Ankara, 2007.
- 18 URL-1 <http://www.isprs.org> (Aralık-2015)
- 19 Yeardon MR, Challis JH: Future directions for performance related research in sports biomechanics, *The Sports Council Ancient House Press*, 1992; Ipswich London:6.
- 20 Çetin N: *Biyomekanik Setma Baskı* Ankara: 1 4 41, 1997.
- 21 Açıkada C, Demirel H: *Biyomekanik ve Hareket Bilgisi, AÜAÖF Eskişehir*: s:15, 1993.
- 22 Muratlı S, Toroman F, Çetin E: *Sportif Hareketlerin Biyomekanik Temelleri; Bağırğan Yayınevi* Ankara: 1 2 16 24, 2000.
- 23 Yavuzer G: The use of computerized gait analysis in the assessment of neuromusculoskeletal disorders, *Journal Of Physical Medicine And Rehabilitation Sciences*, 2007; 10 2 043-045.
- 24 Winter DA: *Biomechanics And Motor Control Of Human Movement*, 2nd Edition, John Wiley & Sons Canada, 1990.
- 25 Braune W, Fischer O: *The Human Gait (Ceviri: Maquet P Furlong R)*, Springer-Verlag Heidelberg Almanya, 1987.
- 26 Abdel-Aziz YI, Karara HM: Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry proceedings of the asp/ui, *Symposium on Close-range Photogrammetry American Society of Photogrammetry*, Falls Church VA, 1971; s 1-18.
- 27 Lee K: *Cad systems for human-centered design computer-aided design & applications*, 2006; 3 5 615-628.
- 28 Civek E: *Comparison of kinematic results between Metu-kiss & Ankara University-vicon gait analysis systems*, Y Lisans Tezi, Odtü Makina Mühendisliği Bölümü, 2006.
- 29 Mehmood A, Camescasse B, Ouezdou FB, Cheng G: *Simulation and design of 3-dof eye mechanism using listing's law*, *International Conference On Humanoid Robots Korea 2008*; 429-434.
- 30 Dumas B, Xu WL, Bronlund J: *Jaw Mechanism Modeling And Simulation Mechanism And Machine Theory*, 40 821-833, 2005.
- 31 Hernandez-Santos C, Soto R, Rodriguez E: *Design and dynamic modeling of humanoid biped robot e-robot*, *Electronics, Robotics and Automotive Conference*, 2011; 191-196.
- 32 Hajny O, Farkasova B: *A study of gait and posture with the use of cyclograms*, *Acta Polytechnica*, 2010; 50 4 48-51.
- 33 Amca M, Harbili E, Arıtan S: *Koparma kaldırışının biyomekanik analizi için mekanik model geliştirilmesi*, *Hacettepe Spor Bilimleri Dergisi*, 2010; 21 1 21-29.
- 34 Jamshidi N, Rostami M, Najarian S, Saadatnia M, Firooz S: *Modelling of human walking to optimise the function of ankle-foot orthosis in guillan-barre patients with drop foot*, *Singapore Medical Journal*, 2009; 50 4 412-417.

- 35 Hang S, Zhaoli M: Kinematics simulation of sit to stand based on simmechanics, *International Conference on Future Computer Science And Education*, 2011; China 59-61.
- 36 Aritan S, Çilli M, Amca M: HUBAG:Üç boyutlu hareket yazılımı, *Hacettepe Jof Sport Sciences*, 2010; 21 (1) 30-36.
- 37 Kawamoto R, Miyagi O, Ohashi J, Fukashiro S: Kinetic comparison of a side-foot soccer kick between experienced and inexperienced players, *Sports Biomechanics*, 2007; 6(2): 187-198.
- 38 Dörge HC, Andersen TB, Sorensen H, Simonsen EB: Biomechanical differences in soccer kicking with the preferred and the non-preferred leg, *Journal of Sports Sciences*, 2005; 20: 293-299.
- 39 Bulgan Ç: Cirit Atma Tekniğinin Biyomekanik Analizi, *Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, 2005; Kocaeli, 194765.
- 40 Göktepe A, Özfıdan I, Karabörk H, Korkusuz F: Buz hokeyi sporunda slap-shot vuruşunun fotogrametrik yöntemler kullanılarak biyomekanik analizi, *Niğde Üniversitesi Beden eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 2009; (3) Sayı:2 106-112.
- 41 Özgören NŞ: Barfıkste Ters Devir ve Düz Devir Hareketlerinin Biyomekanik Analizi, *Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, 2014, Ankara
- 42 Göktepe A, Ak E, Karabörk H, Şeref Ç, Korkusuz F: Futbolda penaltı atışının fotogrametrik yöntemler kullanılarak analiz edilmesi, *Selçuk Üniversitesi Teknik-Online Dergi*, 2009; (8) Sayı:1 1-7.