



KINETIC AND KINEMATIC ANALYSIS OF THE UPPER EXTREMITY OF A ROWER

Faruk Karaca^{*1} , Yıldırım Karayel² , Engin Ünal³ 

^{1,3}Firat University Technology Faculty Department of Machine Engineering, Elazığ, Turkey

²University of Turkish Aeronautical Association Izmir Aviation Vocational School, Izmir, Turkey

Abstract

Original scientific paper

Angular changes occur in the limbs in daily life or sports activities. The movements that occur according to the properties of the joints in which these movements occur in different planes. The aim of this study was to investigate kinematic and kinetic change during a maximum 12s rowing test. The angular changes and the velocity, acceleration and power changes of the limbs are examined by biomechanical kinematic and kinetic analysis. In this study, human hand-arm and shoulder limbs were designed in three dimensions as a representation with the help of Solidworks Motion program. Then, the changes in position, velocity and acceleration as kinematic analysis of the shoulder, elbow and wrist during the rowing movement of the human arm, and the changes in force, moment and force acting on the joints as kinetic analysis were analyzed. In the simulation of the model created as a result of the analysis, four characteristic phases of the rowing motion were clearly seen. Therefore, the model simulated real movement very well.

Keywords: Rowing, kinematics, kinetics, sportive movement, upper extremity.

KÜREK ÇEKME HAREKETİ YAPAN BİR SPORCUNUN ÜST EKTREMİTESİNİN KİNEMATİK VE KİNETİK ANALİZİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Günlük hayatta veya sportif amaçla yapılan hareketlerde uzuvlarda açılal değişiklikler meydana gelmektedir. Bu hareketlerin gerçekleştiği eklemlerin özelliklerine göre oluşan hareketler farklı düzlemlerde oluşmaktadır. Bu çalışmanın amacı maksimum 12s'lik kürek çekme hareketi esnasında kinematik ve kinetik değişimleri araştırmaktır. Oluşan açılal değişiklikler ile uzuvların hız, ivme ve güç değişimleri biyomekanik kinematik ve kinetik analiz vasıtasıyla incelenmektedir. Bu çalışmada, Solidworks Motion programı yardımıyla insan el-kol ve omuz uzuvları temsili olarak üç boyutlu tasarlanmıştır. Daha sonra insan kolunun kürek çekme hareketi sırasındaki omuz, dirsek ve el bileğinin kinematik analizi olarak açılal konum ve hız değişimleri, kinetik analiz olarak da eklemlere etkiyen kuvvet ve güç değişimleri analiz edildi. Yapılan analizler neticesinde oluşturulan modelin gerçekleştirilen simülasyonunda kürek çekme hareketinin karakteristik dört fazı açık bir şekilde görülmüştür. Dolayısıyla model gerçek hareketi gayet güzel simüle etmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kürek çekme, kinematik, kinetik, sportif hareket, üst ekstremite.

1 Giriş

Hareket, bir cismin konumunun sabit bir noktaya kıyasla, zamana bağlı olarak değişmesidir. İnsan bedeninin hareketinde ise; bedenün çeşitli kısımlarının veya tamamının zamanla yaptığı yer değişikliğidir. Bu hareketler uzvun veya eklemin durumuna bağlı olarak açılal veya doğrusal olabilir. Genel hareket, doğrusal ve açılal hareketlerin bir arada olduğunu ifade eden kavramdır. İnsan bedenindeki birçok hareket bu şekilde gerçekleşmektedir [1].

İnsan bedenini meydana getiren kısımlardan üst ekstremitenin üç boyutlu kinematığının incelenmesi

genellikle alt ekstremite kadar bilimsel ilgi görmemiştir. Bunun nedeni üst ekstremitenin hareketinin hızlı olması ve özellikle omuzda hareketin karmaşık olmasıdır[2]. Omuzun distalindeki kinematik zincirin tamamının atalet eksenleri, üst kolun uzunlamasına ekseninden sapar. Bu nedenle, üst kolun uzunlamasına eksenini etrafındaki tork, sadece iç ve dış dönüşü değil, aynı zamanda omuzda başka dönüşler de meydana getirir. Bu, tek başına üst kolun uzunlamasına eksenini etrafında bir eklem dönüşüne neden olan tork ekseninin, üst kolun uzunlamasına ekseninden farklı olması gerektiği anlamına gelir. Bu şekilde, 3B insan hareketlerinde, ortak bir koordinat eksenini etrafındaki ortak dönüş, eksen etrafındaki torkla

* Corresponding author.

E-mail address: fkaraca@firat.edu.tr (F. Karaca)

Received 04 April 2021; Received in revised form 01 June 2021; Accepted 03 June 2021

2587-1943 | © 2021 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.909347>

tam olarak açıklanamaz [3]. Bununla birlikte, kol hareketlerinin karmaşık doğası ve standartlaştırılmış hareketlerin olmaması birçok zorluğu beraberinde getirir. Yürüme analizi ile karşılaştırıldığında, daha az kol hareketi analizi yapılmıştır. Üst ekstremitte eklemlerinin değiştirilmesi veya desteklenmesine yönelik daha bilimsel bir yaklaşım isteği, biyomekanik bilgisayar modellerine girdi sağlama ihtiyacı ve normal hareketleri patolojik hareketlerle karşılaştırmaya yönelik klinik ilgi bu konuya olan motivasyonu güncel tutmaktadır. Bu anlamda ticari markör izleme sistemlerinin mevcudiyeti, bu hedeflere ulaşmayı kolaylaştırmıştır [4]. Hareket izleme teknolojileri kullanılarak gerçekleştirilen ve böylelikle hekimlerin gözlem hatalarını en aza indiren kinematik analiz, objektif ve niceleyici parametreler sağlayarak üst ekstremitte motor fonksiyonlarının objektif, özellikli ve kanıta dayalı olarak değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır [5].

Kürek sporu, kuvvet-dayanıklılık ve fizyolojik yetilerin yanında yüksek düzeyde teknik beceriye gereksinim duyulan bir spordur [6]. Kürek çekmek karmaşık bir motor beceridir. Kürekçi iyi bir teknik, zamanlama ve güce hakim olmalıdır. Kürek çekme ergometreleri çoğu spor salonunda ve fitness merkezinde bulunabilir. Kürek, koşma veya bisiklete binme gibi döngüsel bir harekettir. Bununla birlikte, bisiklete binme ve koşmanın aksine, kürek çekme döngüsü sezgisel bir eylem değildir [7]. Kürek çekişinin en iyi şekilde tanımlanması için hareket tekniğinin fazlara ayrılması gerekmektedir. Kürek çekiş hareket çevrimi, üst ekstremitenin yaptığı kontralateral bir hareket çevrimidir. Yapılan analiz çalışmalarında kürek çekme döngüsünün fazları araştırmacılar tarafından farklı şekillerde tanımlanmıştır. Ancak genel olarak küçük farklarla beraber dört fazdan oluştuğu kabul edilmektedir. Bunlar, yakalama, çekiş, sudan çıkış ve yenileme fazlarıdır [8]. Bu bağlamda gerek mühendislik gerek sağlık bilimlerini tarafından halen araştırmalar sürmektedir. Sağlık ve spor bilimlerindeki araştırmalar genellikle sporcunun enerjisini optimum şekilde kullanmasına odaklı kas iskelet sistemini optimum hareketlerin nasıl yapılacağı konusundadır. Mühendislik tarafında ise salt mekanik analiz gerçekleştirilmektedir.

Gerçekleştirilen bu çalışmada ise, SolidWorks programı yardımıyla insan el-kol mekanizması şematik olarak üç boyutlu çizilerek ve Solidworks Motion menüsü ile insan kolunun kürek çekme hareketi sırasındaki kinematik analiz olarak açısal konum ve hız değerleri kinetik analiz olarak da eklemlere etkiyen kuvvet ve güç değişimleri analiz edilmiştir.

2 Metot

Bu çalışmanın amacı, kürek çekme hareketi yapan bir kürekçinin üst ekstremitesinin kinematik ve kinetik analizinin gerçekleştirilmesidir. Bu nedenle üst ekstremitte uzuvlarının SolidWorks yazılımında bir katı modeli oluşturulmuştur. Katı model oluşturulduktan sonra SolidWorks Motion modülü ile de uzuvların kinematik ve kinetik analizi yapılmıştır.

2.1 Uzuv Kütlelerinin Hesaplanması

Uzuv kütlelerinin belirlenmesinde, kadavra çalışmalarına dayalı olarak Dempster tarafından geliştirilen uzuv parametrelerinden yararlanılmıştır [9]. Yapılan çalışmalar neticesinde uzuv kütlelerini, toplam vücut kütlelerinin (m_t) oranı şeklinde ifade edilmiştir. Bu çalışmalara dayanarak hesaplanan uzuv kütleleri denklem 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 ve 2.6'da belirtilmiştir (bu çalışmadaki örneğin kütlesi 70.2 kg, boyu 174 cm'dir) [10].

Ayağın kütlesi m_a (kg);

$$m_a = 0.0145 \times m_t \Rightarrow m_a = 0.0145 \times 70.2 = 1.018 \quad (2.1)$$

Bacağın kütlesi m_b (kg);

$$m_b = 0.0465 \times m_t \Rightarrow m_b = 0.0465 \times 70.2 = 3.264 \quad (2.2)$$

Uyluğun kütlesi m_u (kg);

$$m_u = 0.1 \times m_t \Rightarrow m_u = 0.1 \times 70.2 = 7.02 \quad (2.3)$$

Gövdenin kütlesi (m_g) hesaplanırken, baş ve boyun bölgeleri de işleme tabi tutulmuştur. Ancak, sagittal düzlemde vücudun yarısı baz alınarak modelleme işlemi yapıldığı için hesaplanan gövde kütlelerinin yarısı modele dahil edilmiştir [10].

Gövdenin kütlesi m_g (kg);

$$m_g = 0.578 \times m_t \Rightarrow m_g = 0.578 \times 70.2 = 40.57 \quad (2.4)$$

Kolun kütlesi m_k (kg);

$$m_k = 0.028 \times m_t \Rightarrow m_k = 0.028 \times 70.2 = 1.965 \quad (2.5)$$

Ön kolun kütlesi $m_{ök}$ (kg);

$$m_{ök} = 0.016 \times m_t \Rightarrow m_{ök} = 0.016 \times 70.2 = 1.123 \quad (2.6)$$

2.2 Uzuv Boylarının Hesaplanması

Uzuv kütlelerinde olduğu gibi uzuv boylarının hesaplanmasında da antropometrik çalışmalardan faydalanılmaktadır. Bu çalışmaların bazılarında uzuv boyları, toplam vücut boyunun oranı şeklinde belirtilmiştir [10]. Yapılan bu çalışmada, farklı yaş ve fiziksel özelliklerdeki 6 adet tüm haldeki insan kadavrası üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada, çeşitli ölçümler ve hesaplamalar yaparak insan vücudunun antropometrik özelliklerini incelemişlerdir. Ortalama vücut boyunun 174 cm olduğu bu çalışmadan faydalanılarak; ayak boyu (l_a) 24.33 cm, bacak boyu (l_b) 37.53 cm, uyluk boyu (l_u) 45.82 cm, gövde boyu (l_g) 66.44 cm, kol boyu (l_k) 30.52 cm, ön kol boyu ($l_{ök}$) 26.3 cm olarak belirlenmiştir [9].

2.3 Uzuv Kütle Merkezlerinin Belirlenmesi

İnsan bedenini meydana getiren uzuvların kütle merkezlerinin yerlerinin belirlenmesinde de

antropometrik çalışmalardan faydalanılmaktadır. Bu çalışmada, uzuvların kütle merkezlerinin yeri bulunurken Dempster'in uzuv parametrelerinden faydalanılmıştır [9]. Uzuvların, proksimal uçtan itibaren kütle merkezlerinin yeri denklem 2.7, 2.8, 2.9, 2.10, 2.11 ve 2.12'de hesaplanmıştır [11].

Proksimal uçtan itibaren ayağın kütle merkezinin yeri (R_a);

$$R_a = 0.5 \times l_a \Rightarrow R_a = 0.5 \times 33 = 12.16 \text{ cm} \quad (2.7)$$

Proksimal uçtan itibaren bacağın kütle merkezinin yeri (R_b);

$$R_b = 0.433 \times l_b \Rightarrow R_b = 0.433 \times 37.53 = 16.25 \text{ cm} \quad (2.8)$$

Proksimal uçtan itibaren uyluğun kütle merkezinin yeri (R_u);

$$R_u = 0.433 \times l_u \Rightarrow R_u = 0.433 \times 48.82 = 19.84 \text{ cm} \quad (2.9)$$

Proksimal uçtan itibaren gövdenin kütle merkezinin yeri (R_g)

$$R_g = 0.495 \times l_g \Rightarrow R_g = 0.495 \times 66.44 = 32.88 \text{ cm} \quad (2.10)$$

Proksimal uçtan itibaren kolun kütle merkezinin yeri (R_k);

$$R_k = 0.436 \times l_k \Rightarrow R_k = 0.436 \times 30.52 = 13.3 \text{ cm} \quad (2.11)$$

Proksimal uçtan itibaren ön kolun kütle merkezinin yeri ($R_{ök}$);

$$R_{ök} = 0.43 \times l_{ök} \Rightarrow R_{ök} = 0.43 \times 26.3 = 11.31 \text{ cm} \quad (2.12)$$

3 Sonuçlar ve Tartışma

Yapılan analizler üst ekstremitenin eklemleri olan omuz, dirsek ve el bileği için ayrı ayrı ele alınmıştır. Bu manada ikinci bölümde hesaplamaları yapılan uzuvların SolidWorks programında üç boyutlu katı modeli oluşturulmuştur. Daha sonra oluşturulan katı model SolidWorks Motion arayüzü ile hem hareketlendirilmiş hem de mekanik verileri elde edilmiştir.

3.1 Omuz

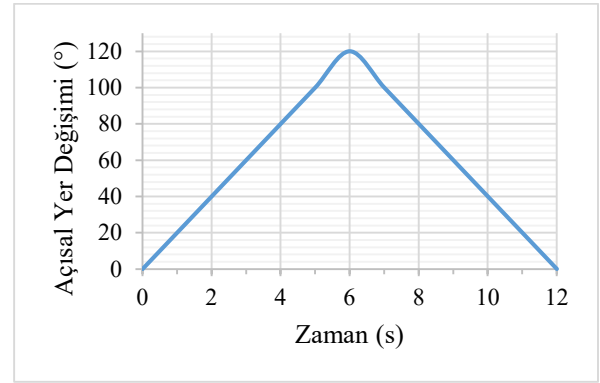
Bir sporcu kolunun, kürek çekme hareketi boyunca kullanılan Solidworks programındaki katı modeli Şekil 1'de görülmektedir. Omuz, dirsek ve el bileği eklemlerine uygun mafsallar tanımlanmıştır. Kürek çekme hareketinin çevrim süresi 12 s ile sınırlandırılmıştır. Omuz eklemine ait açısız konumun zamanla değişimini Şekil 2'deki grafik göstermektedir.

Şekil 2'deki açısız yerdeğişimine bakıldığında; 0° ile başlayıp 6s'de 120° ile maksimum değerine ulaşmıştır. Daha sonra 12s sonra tekrar başlangıç konumuna geri dönmüştür. Açısız konum değişimi yaklaşık olarak doğrusal bir şekilde artmış ve azalmıştır. Ancak Şekil 2'ye

dikkatli bakıldığında 5,5.s ve 6,5. saniyede yaklaşık 100° seviyesinde hafif bir kırılma olduğu görülecektir. Bu durum Şekil 3'teki açısız hız ile zaman değişimi arasındaki grafikte de görülmektedir. Özellikle 5,5. ve 6,5. saniyesine bakıldığında açısız hız değişiminde önce pozitif ardından negatif bir sıçrama yaptığı görülmektedir.

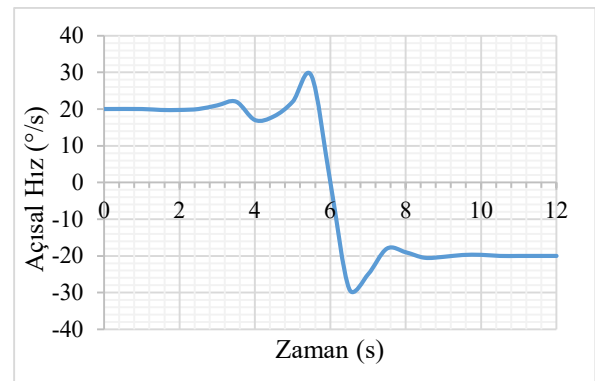


Şekil 1. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının Solidworks ile gösterimi



Şekil 2. Omuzdaki açısız konum-zaman değişimi

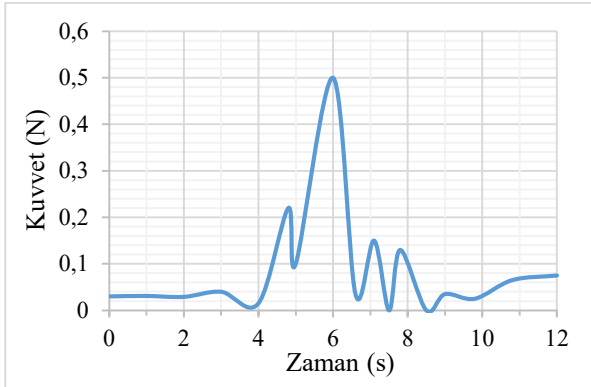
Şekil 3'te açısız hız 3,5s'ye kadar $20^\circ/\text{s}$ ile neredeyse sabit kaldığı akabinde 4.s'de $17^\circ/\text{s}$ 'ye düştüğü görülmektedir. Bu düşüşü takiben 5,5. saniyede maksimum $30^\circ/\text{s}$ 'ye ulaşmıştır. Bu andan itibaren 6.s'de hızlı bir şekilde 0 olmuş ve grafiğin pozitif kısmının simetrisi olacak şekilde bir görüntü sergilemiştir.



Şekil 3. Omuzdaki açısız hız-zaman değişimi

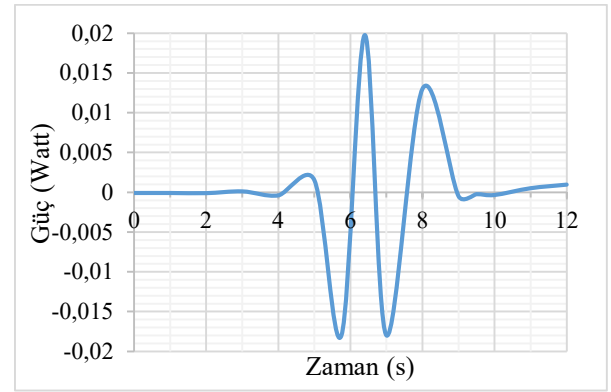
Bu durum literatürde bahsedilen kürek çekmenin dört fazını destekler niteliktedir. [8]. Bu açıdan bakıldığında yakalama, çekiş, sudan çıkış ve yenileme fazları Şekil 3'teki açısız hız-zaman grafiğinde açıkça görülmektedir. Yakalama fazı 4.s'de bitmiş ve çekiş fazına geçmiştir. Açısız hızdaki git gide azalışa bakıldığında çekiş fazı

6.s'de bitmiştir. Bu andan sonra hızın yönü değişmiş yani omuz eklemi ters istikamette dönmeye başlamıştır. Dolayısıyla sudan çıkış fazı başlamıştır. 7,5.s'de sudan çıkış fazının bitmesiyle yenileme fazına geçilmiş ve 12.s itibarıyla kürek çekme hareketi sonlanmıştır.



Şekil 4. Omuzdaki kuvvet-zaman değişimi

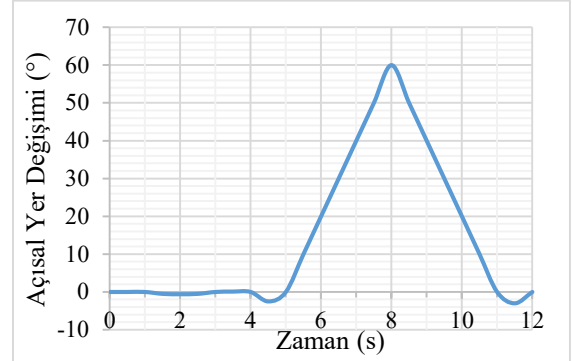
Kürek çekme hareketinin faz geçişleri Şekil 4'de de açıkça görülmektedir. Omuz ekleminde uygulanan kuvvetin zamana bağlı değişimi Şekil 4'deki grafikte verilmiştir. Hareketin 6.s'inde maksimum 0,5N değerine ulaşmıştır. Bu andan sonra giderek azalmış ve 8,5s'ye kadar salınım yapmıştır. 6.s'nin soluna ve sağına bakıldığında benzer değişimler görülmektedir. Yalnız sol tarafta 4,5-5s arasında sadece bir salınım varken sağ tarafta ise 6,5-8,5s arası iki salınım hareketi görülmektedir. Sol tarafta yakalama fazı için tek bir kuvvet değişimi yapılırken sağ tarafta ise çekiş bitirildikten sonra sudan çıkış için iki hareket yapılmış olur. Bunun için sağ tarafta iki farklı harekete istinaden iki salınım görülmektedir. Bu hareket karakteristiği Şekil 5'te de kendini göstermektedir. Omuz eklemindeki zamanla meydana gelen güç değişimini gösteren Şekil 5'te 4.s'ye kadar bir değişiklik görülmemektedir. Daha sonra 0,0015Watt'lık bir pozitif kısımda görülen güç harcaması görülürken akabinde 5,75s'de -0,018Watt'lık negatif kısımda görülen güç emilimi görülmektedir. Grafiğin buraya kadarki kısmı hareketin yakalama fazını ifade etmektedir. Çünkü güç emiliminin ardından hemen harcanmaya başlayan güç +0,02Watt'ta maksimuma ulaşmıştır. Harcanan bu yüksek güç miktarı çekiş fazını ifade etmektedir. 6,4s'den sonra güç harcanması sona ermiş ve tekrar emilmeye başlanmıştır. 7.s'de tekrar -0,018Watt değerine ulaşmıştır. Emilen bu güç miktarı sudan çıkma fazında tekrar harcanmış ve ardından yenilenme fazı için 9.s'de -0,005Watt'lık emilen güç yenilenme fazı için harcanmıştır.



Şekil 5. Omuzdaki kuvvet-zaman değişimi

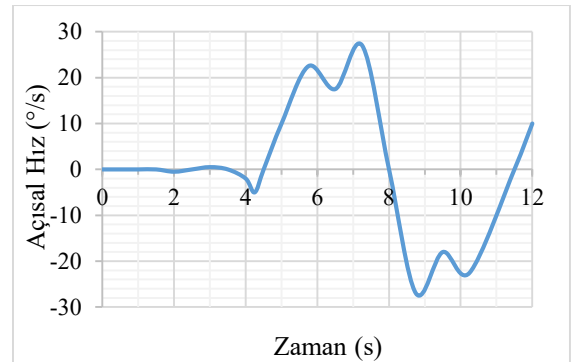
3.2 Dirsek

Dirsek mafsalsının açısal konumunun zamana göre değişimi Şekil 6'da görülmektedir. Genel olarak omuz mafsalsınıninkine benzer bir grafik görülmektedir. Ancak temel olarak görünen iki fark göze çarpmaktadır. Öncelikle maksimum açısal yerdeğiştirme, omuzdakinin yarısı olan 60°'dir. Diğer fark ise, bu maksimum yerdeğiştirmeye 8.s'de ulaşmış olmasıdır. Bunun nedeni, kürek çekme hareketinde omuz mafsalı yakalama fazı ile hemen harekete başlamış ve fakat bu fazda dirsek ekleminde herhangi bir hareket olmamıştır. Dirsek ekleminde hareket 4.s'de başlamıştır. Nitekim Şekil 7'de de 4.s'ye kadar belirgin bir hız değişimi görülmemektedir. Dirsek ekleminin zamana bağlı açısal hız değişimini gösteren Şekil 7'de pozitif yöndeki 27(°/s)'lik maksimum hız 7,25.s'de ulaşmış ve 8.s'de hız 0 olmuştur.



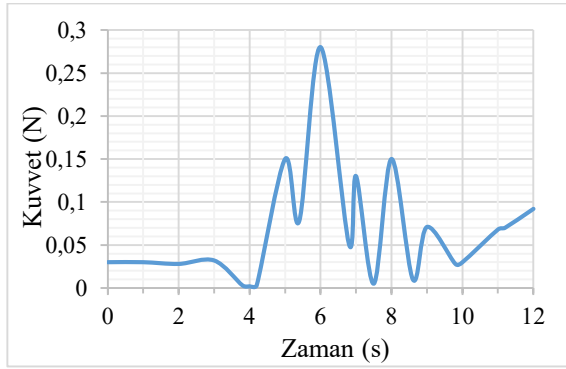
Şekil 6. Dirsekteki açısal konum-zaman değişimi

Bu anda çekiş fazı sonlanmıştır ve sudan çıkma fazı başlamıştır. Çünkü Şekil 7'den görüldüğü üzere hız yön değiştirmiş ve negatif yönde 27(°/s) maksimum değere 8,75.s'de ulaşmıştır. Ardından tekrar hız azalma eğilimine girerek yenilenme fazına girmiştir.



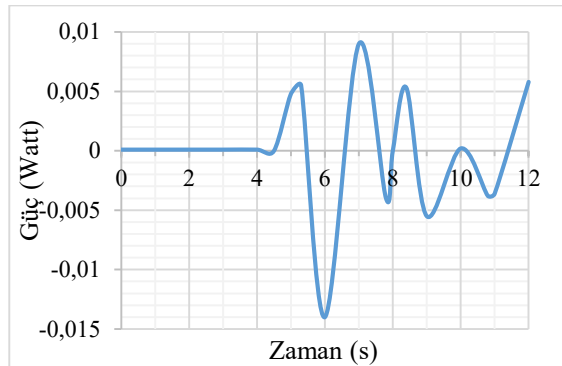
Şekil 7. Dirsekteki açısal hız-zaman değişimi

Dirsek mafsalsındaki kuvvetin zamana bağlı değişimini gösteren Şekil 8'deki grafik de bu durumu doğrular niteliktedir. Bu grafikten görüldüğü üzere 3.s'ye kadar 0,032N değerinde yaklaşık sabit kalmış ve ardından 4.s'de 0 olmuştur. Çünkü yakalama fazında dirsek mafsalsına atalet kuvvetlerinden başka bir kuvvet etkimemektedir. Yakalama fazı bitip çekiş fazı başladıktan sonra 5.s'de 0,15 (°/s)'lik ilk piki yapmış ve akabinde omuz uzvundaki gibi 6.s'de maksimum pik değeri olan 0,28N'a ulaşmıştır. Daha sonra 7,5.s'de 0,005N değerine düşerek çekiş fazının bittiğini ve sudan çıkış fazının başladığını göstermiştir. Ardından 8.s'de 0,15N değerine yükselmiş ve 8,6.s'de sudan çıkış fazı bitmiş ve yenilenme fazına geçmiştir.



Şekil 8. Dirsekteki kuvvet-zaman değişimi

Kuvvet ve hızın çarpımının gücü verdiği hatırlanacak olursa Şekil 9'daki dirsek mafsalsının zamana bağlı güç değişimini gösteren grafiğin işaret ettiklerini görmek daha kolay olacaktır. Bu bağlamda hız-zaman grafiğinde 4.s'ye kadar değer 0 olması ve 4.s'de dirsekteki kuvvetin de 0'a düşmesi neticesinde Şekil 9'daki grafikte 4,5.s'ye kadar güç 0'da kalmıştır. 6.s'de maksimum güç emilimi gerçekleştirilerek -0,014Watt'lık değere ulaşmıştır. Emilen bu güç çekiş fazında harcanmış ve ardından sudan çıkış fazı için hızla negatife doğru dönmüştür. 7,8.s'de tekrar yön değiştirerek 8.s'de 0'dan geçerek sudan çıkış fazı için güç harcanmaya başlamıştır. Akabinde yenileme fazı için tekrar güç emilimi görülmektedir.



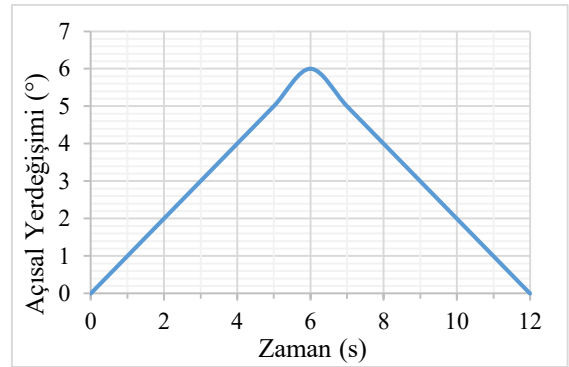
Şekil 9. Dirsekteki güç-zaman değişimi

3.3 Elbileği

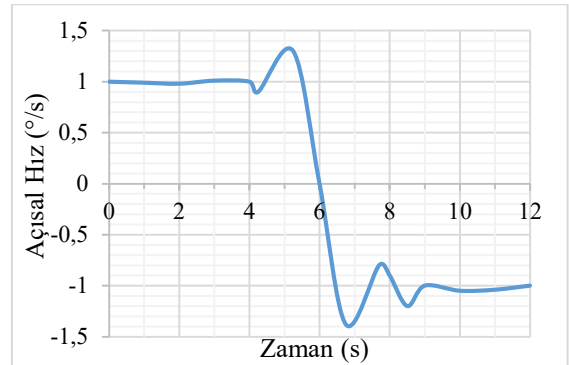
Elbileği eklemelinin açısal konum zaman değişim grafiği Şekil 10'da görülmektedir. Grafikte ilk göze çarpan nokta omuz eklemelinin grafiğine çok benzer

olduğudur. Her ne kadar şekil olarak benzer olsa da değer olarak oldukça farklıdır. Çünkü Şekil 2'deki omuz eklemi için olan maksimum açısal yerdeğişimi değeri 120° iken Şekil 10'daki maksimum değer 6°'dir. Burada da diğer eklemlerdeki gibi 6.s'nin hareketin dönüm noktası olduğu görülmektedir.

Bu bağlamda Şekil 11'de el bileği eklemelinin açısal hızının zamana bağlı değişiminde de 6.s'de açısal hız 0 olmuş ve hareket yön değiştirmiştir. Bilekteki açısal hız değişimi 4.s'ye kadar 1 (°/s)'de sabit kalmıştır. Ardından 0,9 (°/s)'ye küçük bir düşüş yaptıktan sonra 5,25.s'de maksimum 1,3 (°/s)'ye çıkmış ve 6.s'de ise 0 olmuştur. Dolayısıyla 4.s'ye kadar hareketin yakalama fazı, 4.s-6.s'ler arındaysa çekiş fazı gerçekleşmiştir. Hareketin hız grafiğinin 6.s'den sonraki kısmında değerler negatif yönde devam etmektedir.

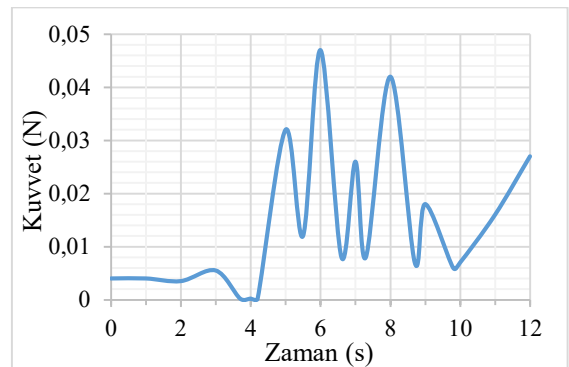


Şekil 10. Elbileğindeki açısal konum-zaman değişimi



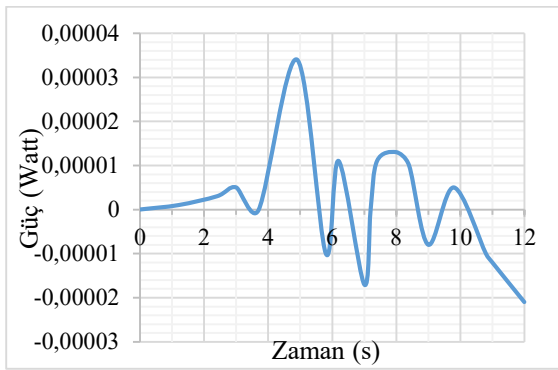
Şekil 11. Elbileğindeki açısal hız-zaman değişimi

Çekiş fazından sonra gelen sudan çıkış fazı 7,7.s'ye kadar sürmüştür. Bu andan itibaren açısal hız değişimi tekrar bir salınım yaptıktan sonra 10.s'den sonra -1,05 (°/s)'de sabit olduğu görülmektedir. 7,7.s'den sonra sudan çıkma fazı bitmiş ve yenilenme fazı başlamıştır.



Şekil 12. Elbileğindeki kuvvet-zaman değişimi

El bileğindeki kuvvet zaman değişiminin görüldüğü Şekil 12'ye bakıldığında dirsekteki kuvvet zaman değişimininkine son derece benzer olduğu görülmektedir. Şekil 12'de de 4.s'ye kadar 0,0035N civarında az bir salınım yaptıktan sonra 4.s'de 0 olmaktadır. Daha sonra 5.s'de 0,032N'da ilk piki yapmış ve ardından 6.s'de 0,047N'luk maksimum değere ulaşmıştır. Bu andan sonra çekiş fazı tamamlanmış ve sudan çıkma fazı başlamıştır. Çünkü eklem kuvveti hızla 0,008N'a düşmüştür. Ardından 8.s'ye kadar sudan çıkma fazı gerçekleşmiş ve akabinde yenilenme fazı başlamıştır. Hareketin faz değişimleri Şekil 13'teki güç zaman değişim grafiğinde de görülmektedir. 3,7.s'de 0 olduktan sonra 4,9.s'de $3,4 \cdot 10^{-5}$ Watt'lık maksimum değere ulaşmış ve 6.s'de tekrar 0 olmuştur. 7.s'de sudan çıkış fazı için $1,7 \cdot 10^{-5}$ W güç emilmiş ve 8.s'de harcanmıştır. 9.s'de emilen güç ise 9,8.s'de yenilenme fazı için harcanmıştır.



Şekil 13. El bileğindeki güç-zaman değişimi

4 Genel Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada kürek çekme hareketi yapan bir sporcunun üst ekstremitesini meydana getiren el, ön kol ve kol uzuvları ile bunların eklemleri olan omuz, dirsek ve el bileğinin kinematik ve kinetik analizleri ortaya konmuştur. Halihazırda yayınlamış çalışmalardan farklı olarak Solidworks Motion yazılımı ile bu kinematik ve kinetik analiz gerçekleştirilmiştir. Genel olarak analiz sonuçlarına bakıldığında gerçekleştirilen modellemenin simülasyonunun mevcut literatürdeki metodoloji ile gayet tutarlı sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür. Bu açıdan bakıldığında bu çeşit analizlerde Solidworks Motion yazılımının kullanışlı olabileceği değerlendirilmektedir. Literatürde bahsedilen kürek çekme hareketinin dört temel fazı olan yakalama, çekme, sudan çıkma ve yenilenme tüm eklemlerdeki grafiklerde bariz bir şekilde görülmüştür. Hem kinematik hem de kinetik analiz sonuçları hep birlikte irdelendiğinde kendi aralarında da tutarlılık göstermişlerdir.

Son olarak, göz önüne alınan örnek uzvun simülasyonu yapılmadan önce SolidWorks'de katı modelinin detaylı ve özgün haline gayet yakın bir biçimde

oluşturulması analiz sonuçlarının daha sağlıklı olmasını sağlayacaktır.

Bilgilendirme

Bu makale Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Teknolojileri Programı'nda "Sportif Hareketler Yapan Bir Sporcuda Üst Ekstremitenin Kinematik ve Kinetik Analizi" adı ile kayıtlı yüksek lisans tezindeki verilerden hazırlanmıştır. Bu çalışma sadece sayısal analiz olarak gerçekleştirilmiş ve herhangi bir insana ait kişisel veriler kullanılmamıştır. Dolayısıyla etik kurul iznine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Doğan, M. (2017). The determination of upper extremity movement pattern in functional activities. Hacettepe University, Ankara.
- [2] Rab, G., Petuskey, K., & Bagley, A. (2002). A method for determination of upper extremity kinematics. *Gait & posture*, 15(2), 113-119.
- [3] Hirashima, M., Kudo, K., & Ohtsuki, T. (2007). A new non-orthogonal decomposition method to determine effective torques for three-dimensional joint rotation. *Journal of biomechanics*, 40(4), 871-882.
- [4] Anglin, C., & Wyss, U. P. (2000). Review of arm motion analyses. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: *Journal of Engineering in Medicine*, 214(5), 541-555.
- [5] Ozturk, A., Tartar, A., Huseyinsinoglu, B. E., & Ertas, A. H. (2016). A clinically feasible kinematic assessment method of upper extremity motor function impairment after stroke. *Measurement*, 80, 207-216.
- [6] Çelikel, F., Bingül, B. M., AYDIN, M., & BULGAN, Ç. Kürekçilerin Kürek Ergometresinde 2000 M Kürek Çekişlerinin 3 Boyutlu Biyomekaniksel Analizi. *Sportme Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 15(4), 151-156.
- [7] Černe, T., Kamnik, R., Vesnicer, B., Gros, J. Ž., & Munih, M. (2013). Differences between elite, junior and non-rowers in kinematic and kinetic parameters during ergometer rowing. *Human movement science*, 32(4), 691-707.
- [8] Bulgan, Ç. (2015). Durgunsu Sprint Kayak Tekniğinin 3b Kinematik Analizi. Ankara Üniversitesi, Ankara.
- [9] Dempster, W. T., Sherr, L. A., & Priest, J. G. (1964). Conversion scales for estimating humeral and femoral lengths and the lengths of functional segments in the limbs of American Caucasoid males. *Human Biology*, 36(3), 246-262.
- [10] Kaptı, A.O. (2001). İnsan Alt Ekstremitesinin İncelenmesi ve Aktif Dizüstü Protezi Tasarımı. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [11] Robertson, D. G. E., Caldwell, G. E., Hamill, J., Kamen, G., & Whittlesey, S. (2013). *Research methods in biomechanics*. Human kinetics.