

**OMUZ HASARLI HASTALAR İÇİN COCOMODEL İLE TELEREHABİLİTASYON UYGULAMASI**Sedef KILIÇÇEKEN<sup>1</sup>, Burakhan ÇUBUKÇU<sup>2\*</sup>, Uğur YÜZGEÇ<sup>3</sup><sup>1</sup> Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Bilecik, Türkiye,ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-1871-5528><sup>2</sup> Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Bilecik, Türkiye,ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-0480-1254><sup>3</sup> Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Bilecik, Türkiye,ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-5364-6265>

Anahtar Kelimeler	Öz
Telerehabilitasyon Omuz egzersizi Coco model OpenPose	<i>Dünyada engelli sayısının artmasıyla birlikte fizyoterapiye ihtiyaç duyan insanların sayısı da artmaktadır. Gelişmiş teknolojileri kullanan telerehabilitasyon sistemleri, geleneksel fizyoterapi yöntemlerine göre avantajlara sahiptir. Telerehabilitasyon sayesinde insan iskelet sistemi izlenebilmekte ve hastalara rehabilitasyon yaptırılabilir. Bununla birlikte 3 boyutlu hareket izleme sistemlerinin, Kinect gibi sistemlerin donanım maliyetleri bulunmaktadır. Bu çalışmada herhangi bir kamera ile alınan görüntüler üzerinde OpenPose kütüphanesinden COCO Model kullanılarak 2D olarak insan vücut eklemleri ve eklem koordinatları tespit edilmiştir. Elde edilen eklem bilgileri ile omuz eklemi, kas ve tendon hasarlı hastalar için fizyoterapi uygulaması geliştirilip fizik tedavi merkezlerine gidemeyen hastalara kolaylık sağlanması amaçlanmıştır. Önerilen bu sistemin Kinect, 3D hareket izleme sistemlerine göre avantaj ve dezavantajları değerlendirilmiştir.</i>

**TELEREHABILITATION APPLICATION WITH COCOMODEL FOR PATIENTS WITH SHOULDER DAMAGE**

Keywords	Abstract
Telerehabilitation Shoulder exercise Coco model OpenPose	<i>With the increase in the number of disabled people in the world, the number of people who need physiotherapy is also increasing. Telerehabilitation systems using advanced technologies have advantages over traditional physiotherapy methods. Thanks to telerehabilitation, the human skeletal system can be monitored and patients can be rehabilitated. However, systems such as 3D motion tracking systems and Kinect have hardware costs. In this study, human body joints and joint coordinates were determined in 2D using the COCO Model from the OpenPose library on images taken with any camera. With the joint information obtained, it is aimed to develop a physiotherapy application for patients with shoulder joint, muscle and tendon damage and to provide convenience to patients who cannot go to physical therapy centers. The advantages and disadvantages of this proposed system compared to Kinect, 3D motion tracking systems have been evaluated.</i>
Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 13.07.2021	Submission Date : 13.07.2021
Kabul Tarihi : 25.02.2022	Accepted Date : 25.02.2022

\* Sorumlu yazar; e-posta : burakhan.cubukcu@bilecik.edu.tr

Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Giriş

Son yıllarda insan fizyolojisi ve hastalığını etkileyen en önemli çevresel değişikliklerden birinin, insan hayatının rutin bir parçası olması gereken fiziksel aktivitenin azalması olduğu gözlemlenmiştir. Fiziksel hareketsizlik ve hareketsiz yaşam tarzı, kardiyovasküler hastalıklar, diyabet ve kanser dahil olmak üzere birçok hastalık için önemli risk faktörleridir (Spear, Barlow, Ervin, Ludwig ve Saelens, 2007). Çalışmalar göstermektedir ki fiziksel hareketsizlik, tüm ölümlerin altta yatan önemli bir sebebidir (Lee, Hsieh ve Paffenbarger Jr, 1995; Paffenbarger, Hyde, Wing ve Hsieh, 1986). Ölümlerin dışında hastalık temelli rahatsızlıklarda gerekli rehabilitasyonun yapılmaması insan vücudunda kalıcı hasarlara yol açabilmektedir. Birçok hastalığın tamamen iyileşebilmesi fizik tedavinin doğru bir şekilde yapılmasına ve tamamlanmasına bağlıdır. Ancak insanların etkili fizik tedaviye ulaşmasının önünde bazı zorluklar bulunmaktadır.

Fiziksel engelli insanlar fizik tedavi merkezine ya da hastaneye ulaşma konusunda zorluklar yaşamaktadırlar. Bu insanların yakınlarında hastane olsa bile, tüm hastanelerde fizik tedavi kısımlarının ve bazı fizik bölümlerinin uzmanları bulunmamaktadır. Araştırmalar sağlık çalışanlarının yeterli bilgi ve beceri sahibi olmamalarının rehabilitasyon süreci üzerinde olumsuz bir etkisi olduğunu göstermektedir (Roy, Soni ve Dubey, 2013). Bir diğer problem ise hastaların rehabilitasyon boyunca yapması gereken egzersizleri yalnızca %31 oranında doğru yapabilmeleridir. Ayrıca hastaların %65'i egzersizleri doğru yapıp yapamadığı hakkında bir fikir sahibi olamamaktadır. Bu nedenlerden dolayı hastaların tedavi süreci için rehabilitasyon merkezine gitmesine gerek kalmadan egzersizleri doğru bir şekilde gerçekleştirmeleri ve bu egzersizlerin doğruluklarının onaylanması önem arz etmektedir (Duarte, Postolache ve Sharcanski, 2014; Shaughnessy, Resnick ve Macko, 2006; Tino ve Hillis, 2010).

Günümüzde fiziksel engelli insanların bu sorunlarına çözüm olması için kullanılan telerehabilitasyon araçlarının geleneksel tedaviye göre daha ucuz ve erişilebilir olduğu gözlemlenmektedir. Yapılan testlerle önerilen telerehabilitasyon yöntemlerinin avantajları tespit edilmektedir (Milosevic, Leardini ve Farella, 2020). Telerehabilitasyon ile inme gibi ağır hastalık geçirenlerin denge ve motor fonksiyonlarının düzelmesine fayda sağlamak (Xavier-Rocha ve diğerleri, 2020), çocuk felci geçirenlerin yürüyüş analizinde kullanılması (Barreira, Forner-Cordero, Grangeiro ve Moura, 2020) gibi bir çok rehabilitasyon gerektiren hastalıklarda çözümler üretilebilmektedir.

Bu çalışmada Kinect 2 sensörü ve benzer sistemlerin dezavantajlarını ortadan kaldırmak amacıyla herhangi bir kamera ile insan iskelet tespiti yapabilen bir sistem önerilmektedir. Önerilen sistem OpenPose

kütüphanesinden COCO Model kullanmaktadır. Kullanılan bu model sayesinde insan üzerinde 17 eklem noktası tespit edilerek insan hareketleri gözlemlenmekte ve bu sayede kullanıcıya egzersiz yaptırılabilir. Önerilen bu sistem, omuz eklem tendon hasarlı hastaların yapması gereken abduksiyon egzersizi ile farklı kullanıcılar üzerinde denenmiştir. Çalışmada, bilimsel yazın taranması, insan vücudunu tespit edebilmek için kullanılan yöntem, kullanılan kütüphane, geliştirilen sistemin detayları, tartışma ve sonuç bölümlerine yer verilmektedir.

## 2. Bilimsel Yazın Taraması

Gelişen teknoloji sayesinde fizik tedavi alanında bu sorunlara farklı çözümler önerilmektedir. Telerehabilitasyon terimi, rehabilitasyon hizmetlerinin internet ve telekomünikasyon ağları aracılığıyla sağlanması olarak tanımlanabilir (Russell, 2007). Araştırmalar, hastaların egzersizlerini evde fizyoterapist olmadan telerehabilitasyon uygulamalarını kullanarak yapabileceklerini göstermiştir (Bidargaddi ve Sarela, 2008). Ek olarak, telerehabilitasyon ile yapılan egzersizler, geleneksel rehabilitasyon yöntemleriyle yapıldığı kadar etkili olmaktadır. Telerehabilitasyon sayesinde; hastalar egzersizleri doğru yaptıklarından emin olmakta ve egzersizleri doğru yapma oranları klasik yöntemlere oranla artmaktadır. Bu sayede hastaların iyileşme oranları artarken iyileşme süreleri kısalmaktadır. Bu doğru ve etkili egzersizler hastaneye gitmeden tekrarlanabilmekte ve hastaların tüm egzersizlerinin verileri kayıt altına alınabilmektedir (Çubukçu ve Çetin, 2016; Müller, Ilg, Giese ve Ludolph, 2017; Rizzo ve Kim, 2005; Weiss, Rand, Katz ve Kizony, 2004).

Microsoft Xbox Kinect sensörü (Kinect 2) iskelet izleme özelliği sayesinde telerehabilitasyon uygulamalarında kullanılmaktadır ve bu alanda geçerlilik, güvenilirliği gösterilmiştir (Çubukçu, Yüzgeç, Zileli ve Zileli, 2020; Sadeghi Esfahlani, Muresan, Sanaei ve Wilson, 2018). Kinect 2 bir çok uygulamada popüler olarak kullanılmakta olup (Han, Shao, Xu ve Shotton, 2013), bu çalışmadaki gibi omuz rehabilitasyonuna yönelik geliştirilmiş bir uygulamada (Çubukçu, Yüzgeç, Zileli ve Zileli, 2018), bu uygulamanın web tabanlı fizyoterapist ile hasta arasında tüm iletişim ihtiyaçlarına cevap verebilecek şekilde bütünleşik olarak geliştirilen başka bir uygulamada da kullanılmıştır (Çubukçu, Yüzgeç, Zileli ve Zileli, 2021). Bir başka çalışmada ise Kinect çapraz bağ sakatlığı yaşayan hastaların rehabilitasyonunda kullanılırken (Dinvar, Çubukcu ve Yüzgeç, 2017), oyun ve sanal gerçeklik tabanlı uygulamalarda da özellikle rehabilitasyon egzersizlerinin sıklığını azaltma amacıyla kullanıldığı görülmektedir (Pedraza-Hueso, Martín-Calzón, Díaz-Pernas ve Martínez-Zarzuela, 2015). Literatürde Kinect'in ilk versiyonu olan Microsoft Xbox 360 (Kinect1) kullanılarak omuz rehabilitasyonuna yönelik yapılan çalışmalar da mevcuttur (Çubukçu ve Yüzgeç,

2017). Tüm bu umut veren çalışmalara rağmen Kinect 2'nin ekstra bir donanım olarak bilgisayara takılmasının gerekmesi, taşınabilirliğinin az olması, en fazla altı kişiye kadar iskelet izleme yapabilmesi gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Her ne kadar 3 boyutlu izleme sistemlerine göre oldukça uygun maliyeti olsa da rehabilitasyonu herkesin evine taşıyabilecek kadar ucuz bir donanım değildir.

### 3. Yöntem

Önerilen sistemde, OpenPose kütüphanesinden COCO Model kullanılarak iskelet sistemi üzerindeki kilit eklem noktaları tespiti ve elde edilen eklem kilit noktaları ile omuz egzersizinin doğru bir şekilde takip edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### 3.1. OpenPose Kütüphanesi (COCO Model)

OpenPose ile insan vücudu üzerinde 135 nokta elde edilmektedir. OpenPose farklı açılardan insan vücudunun tüm noktalarının nasıl görüldüğünü tespit edebilme yeteneğine sahiptir (Cao, Simon, Wei ve Sheikh, 2017).

COCO Modeli veri kümesi, insan vücut pozlarının eklem noktalarının tahmininde popüler olarak kullanılan gelişmiş bir modeldir. Veri kümesinde 200.000'den fazla resim üzerinde önemli noktaları belirtilmiş insan örnekleri bulunmaktadır (<https://arvrjourney.com/human-pose-estimation-using-openpose-with-tensorflow-part-2-e78ab9104fc8>, y.y.). Şekil 1'de veri kümesinden bazı örnekler verilmiştir (<http://cocodataset.org/>).

COCO 2018 Keypoint Detection Task



Şekil 1. COCO Model Veri Kümesi

COCO insan pozu kümesi, insan üzerinde 17 farklı eklem noktasını bulabilmektedir. Bu çalışmada önerilen sistemde ise, yeterli bulunduğundan, bu noktaların sadece 13'ü kullanılmıştır. Şekil 2'de COCO Modelin insan iskelet sistemini izlemek için kullandığı 17 nokta ve bu noktaların isimlendirilmeleri verilmektedir

(<https://pdfs.semanticscholar.org/dfad/8f616bd2a05c8cae5f61060f743f966ece85.pdf>).



Şekil 2. COCO Model eklem kilit noktaları

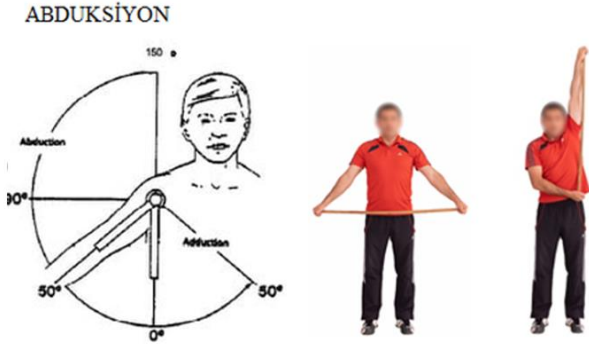
Kinect V2 25 eklem noktasını en fazla 6 kişi üzerinde algılayabilirken, COCO Model gerçek zamanlı görüntülerde sınırsız sayıda insanı algılayabilmekte ve bir insanın üzerinde 17 eklem noktasını tespit edebilmektedir. COCO model sayesinde kalabalık ortamlarda tespit edilebilen insan eklem noktalarına ait örnek görüntüler Şekil 3'de verilmiştir (Cao ve diğ., 2017).



Şekil 3. COCO Model örnek çıktıları

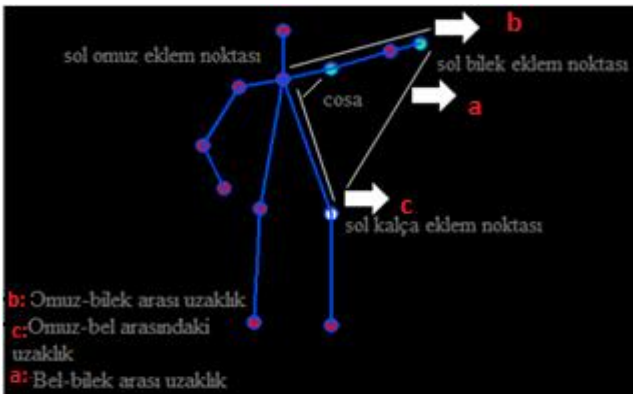
#### 4. Omuz Eklem Tendon Hasarlı Hastalar İçin Telerehabilitasyon Uygulaması

Bu çalışmada, Kinect V2'nin iskelet izleme özelliği örnek alınarak daha uygun maliyetli farklı bir yöntem ile gerçekleştirilip, fizik tedavisinde hareket izleme uygulaması yapılması amaçlanmıştır. Geliştirilen hareket izleme yöntemi ile omuz hasarlı hastalara Şekil 4'de gösterilen abduksiyon egzersizinin yaptırılabilmesi hedeflenmiştir.



Şekil 4. Uygulamada yapılması istenen hareket

Çalışmada bilgisayar kamerası ya da harici kamera ile alınan görüntüler üzerinde COCO Model yardımıyla insan iskeleti üzerindeki eklem noktalarının konumlarının tespiti yapılmıştır. Elde edilen eklem noktalarının endeks değerleri kullanılarak iskelet çizimi gerçekleştirilmiştir. Önerilen sistem, alınan gerçek zamanlı görüntüde tek bir kullanıcının olup olmadığını kontrol etmekte ve birden fazla kullanıcı olması durumunda konsol ekranına "lütfen kamera önüne bir kişi geçiniz!" yazdırarak uyarıda bulunmakta ve egzersizleri başlatmamaktadır. Abdüksiyon egzersizinin, hangi omuz için yaptırılacağı sisteme uygulama öncesinde manuel olarak girilmektedir. Yapılan rehabilitasyon egzersizlerinde vücut pozisyonunun doğruluğu oldukça önemlidir (Çubukçu ve diğ., 2021). Egzersizin doğru mu yoksa yanlış mı yapıldığını tespit edebilmek için hem açısal kontrol hem de vücut duruşu için koşul koyulmuştur. Egzersizin efektif yapılması için koşul olarak "gövdenin dik durması ve ellerin vücudun yanında olması" şartı koyulmuştur. Bu koşulların kontrol edilebilmesi için Şekil 5'de gösterilen hasarlı kolun omuz (A), bel (B), bilek (C) noktalarından elde edilen üçgenin oluşturduğu açının hesaplanması gerekmektedir. Bu açının hesaplanması için  $A(x_1, y_1)$ ,  $B(x_2, y_2)$  ve  $C(x_3, y_3)$  olmak üzere, Eşitlik(1-3) kullanılarak seçilen noktalar arasındaki mesafe ilk olarak bulunmuştur. Sonrasında, açısal değerini elde edebilmek için Eşitlik 4 kullanılarak gerekli açının değeri tespit edilmiştir.



Şekil 5. Abdüksiyon egzersizi için açının hesaplanması

$$|BC| = \sqrt{(x_2 - x_3)^2 + (y_2 - y_3)^2 + (z_2 - z_3)^2} \quad (1)$$

$$|AC| = \sqrt{(x_1 - x_3)^2 + (y_1 - y_3)^2 + (z_1 - z_3)^2} \quad (2)$$

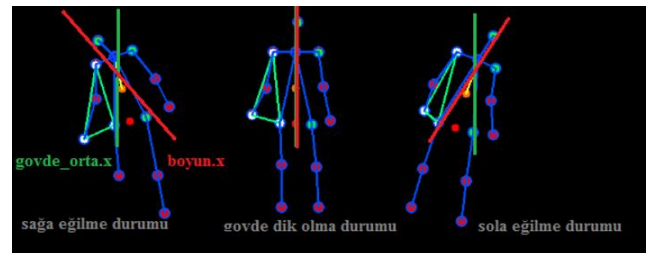
$$|AB| = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (3)$$

$$A = \arccos\left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}\right) \quad (4)$$

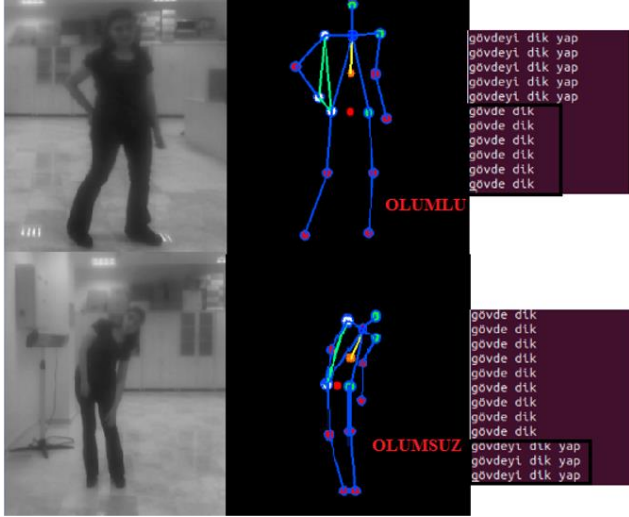
Uygulamada egzersizin tamamen yapılıp yapılmadığı sonucunu görmekten ziyade kullanıcının doğru pozisyonlarda egzersize yanıt vermesi önemlidir. Bu yüzden ilk olarak egzersiz boyunca kullanıcı iskelet sistemini dik pozisyonda tutmalıdır. Dik tutulmayan gövde ile egzersiz esnasında vücut sağa veya sola eğilmesi durumunda yapılan egzersiz faydalı olmayacağından ölçümler sırasında gövdenin dikliği sürekli olarak kontrol edilmektedir. İkinci kontrol ellerin vücudun yanında olup olmasındadır. Bu kontrol ise kullanıcının başlangıç pozisyonuna geldiğini anlamak için yapılmaktadır. Kullanıcı başlangıç pozisyonunda durduğu sürece kayıt yapılmamakta, gereksiz işlemlerden kaçınılmaktadır. Bu bölümün a ve b kısımlarında egzersiz için gerekli bu iki koşulun işleyişi anlatılmaktadır.

#### 4.1. Gövdenin Dik Olması Durumu

Yapılan egzersizlerden en yüksek verimi alabilmek için vücudun tüm egzersiz boyunca doğru pozisyonda olması gerekmektedir. Bunu kontrol edebilmek için önerilen sistemde Şekil 6'da gösterildiği gibi gövdenin dik olup olmadığını gövde orta noktasının x koordinat değeri ile boyun eklem noktasının x koordinat değeri arasındaki fark hesaplanmaktadır. Aradaki fark belirlenen aralıklar dışında olduğu sürece kullanıcının gövdesinin dik olmadığı anlaşılmaktadır. Şekil 7'de verildiği gibi kullanıcının pozisyonu sürekli olarak kontrol edilmekte ve pozisyonunun doğruluğu durumunda konsol ekranına "gövde dik" veya pozisyonun yanlışlığı durumunda konsol ekranına "gövdeyi dik yap" şeklinde uyarılar yazdırılmaktadır.



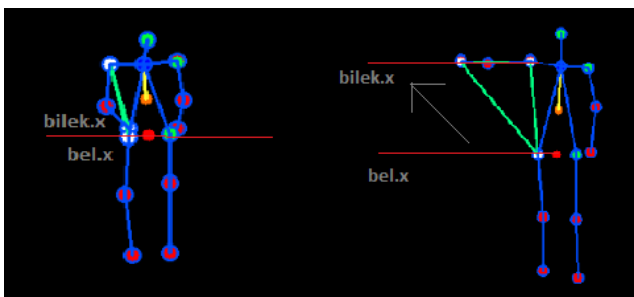
Şekil 6. Gövde dik kontrolü



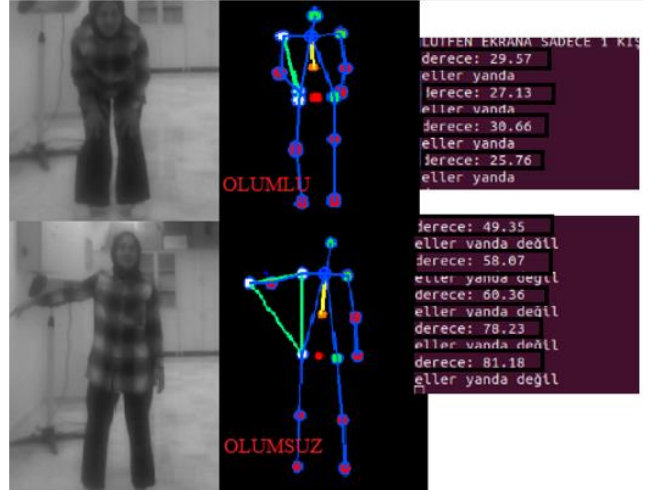
Şekil 7. Kullanım sırasında gövdenin diklik durumu uyarıları

#### 4.2. Ellerin Vücudun Yanında Olması Durumu

İskelet noktaları üzerinde yapılan kontrollerden bir diğeri olan ellerin vücudun yanında olup olmadığını tespit etmek için, ilk olarak hasarlı olan kolun, omuzun ve bileğin oluşturduğu üçgenin omuz açısı hesaplanmaktadır. Aynı zamanda bilek noktasının x koordinat değeri ile bel noktasının x koordinat değerleri arasındaki mesafe artışı da ellerin vücudun yanında olması tespitinde kullanılmıştır. Kullanıcının abduksiyon egzersizi için kolunu hareket ettirip ettirmediğini tespit etmek için ellerin vücudun yanında olup olmadığı kontrol koşulu olarak koyulmuştur. Şekil 8'de eller vücudun yanındayken ve değilken, bu koşulun hesaplanması için kullanılan bilek ve bel noktalarının x koordinatlarının görünümü verilmektedir. Şekil 9'da ise kullanım sırasında pozisyonunun doğruluğu durumunda konsol ekranına "eller yanda" veya pozisyonun yanlışlığı durumunda konsol ekranına "eller yanda değil" şeklinde yazdırılan uyarılar gösterilmektedir.



Şekil 8. Eller vücudun yanında olması durumu (Bilek, bel x koordinatları)

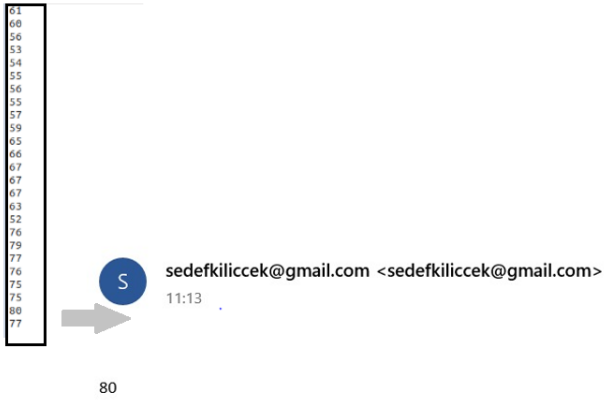


Şekil 9. Ellerin vücudun yanında olması durumu uyarıları

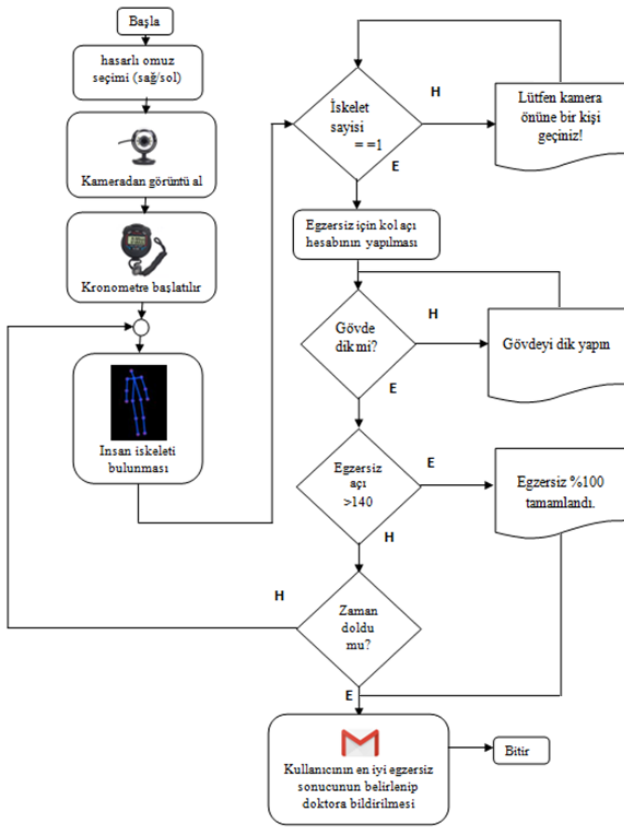
#### 4.3. Abdüksiyon Telerehabilitasyon Yazılımı

Yapılan ön-kontroller yardımı ile egzersiz süresi boyunca kullanıcının doğru pozisyonlarda egzersiz yapabilmesi için hareketleri kısıtlanmaktadır. Bu sayede önerilen sistemle yapılan egzersizin doğru pozisyonunda yapılması sağlanmaktadır.

Önerilen sistemin temel amaçlarından biri omuz hasarlı hastaların egzersizlerini doğru bir şekilde yapmasını sağlamak iken, bir diğeri de yapılan egzersiz bilgilerini fizik tedavi uzmanına iletebilmektir. Sistem sürekli olarak açı ölçümü yapmaktadır. Egzersiz sırasında (abduksiyon egzersizinde kol yukarı kalkarken) ölçülen açı değeri sürekli artmaktadır. Egzersizdeki amaç hastanın yapabildiği en yüksek açının bulunması olduğundan, sistem tarafından Şekil 10'da gösterildiği gibi ölçülen açı değerlerinin en yüksek olan değeri fizik tedavi uzmanına elektronik ortamda iletilmektedir. Böylece sistem hem fizik tedavi uzmanını hastanın durumu hakkında bilgilendirmiş olurken hem de hastanın kontrol edilebilir olmasını sağlamaktadır. Bunun sebebi doktorun kullanıcının egzersizlerdeki olumlu ya da olumsuz ilerleme sürecini daha net görebilmesi ve takip edebilmesini sağlamaktır. Şekil 11'de önerilen sistemin akış diyagramı gösterilmiştir. Akış diyagramından da görüleceği gibi, kullanıcı ilk önce hasarlı omuz seçimi yapmakta, daha sonra kameradan alınan görüntüsünden COCO modeli yardımıyla iskelet sistemi bulunarak, egzersiz için kamera karşısında bir kişi olması kontrolü yapılmaktadır. Egzersiz için seçilen abduksiyon hareketinin yapımı sırasında kol açısının hesabı geliştirilen yazılım ile hesaplanmakta ve egzersiz için gerekli ön koşul kontrolleri yapılmaktadır.



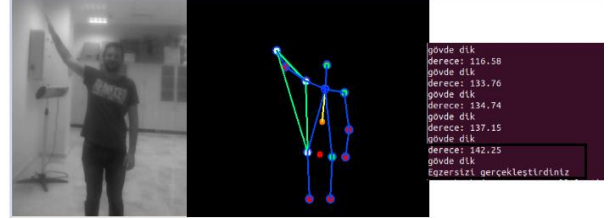
Şekil 10. Kullanıcının yaptığı Abdüksiyon egzersizlerinde elde edilen en yüksek açı değerinin Fizyoterapistte iletilmesi



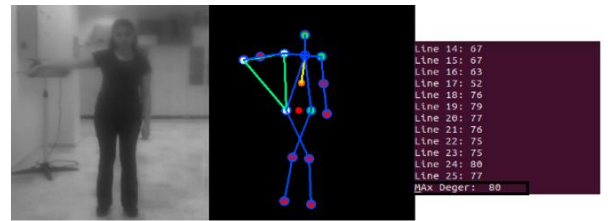
Şekil 11. Telerehabilitasyon sistemi akış diyagramı

Egzersiz için kullanıcıya 25 saniye süre tanınmakta bu süre içerisinde yapılan egzersizin açı değeri her saniye konsol ekranına yazdırılmaktadır. Egzersiz açısının eşik değerini (abdüksiyon egzersizi için 140 derece olarak alınmıştır) geçmesi veya egzersiz yapma süresinin dolması durumunda kullanıcının yapmış olduğu en iyi egzersiz açı değeri eposta yoluyla fizyoterapistte gönderilmektedir. Şekil 12’de verildiği gibi kullanıcı egzersiz esnasında istenen açıya ulaşabilirse egzersizi

tamamlamış kabul edilmektedir. Şekil 13’de gösterildiği gibi kullanıcı egzersizde istenilen eşik seviyesi açısına ulaşamazsa belirlenen süre boyunca egzersiz devam eder ve bu süre boyunca ölçülen en yüksek açı değeri kaydı tutulur.



Şekil 12. Uygulama egzersizi örnek 1



Şekil 13. Uygulama egzersizi örnek 2

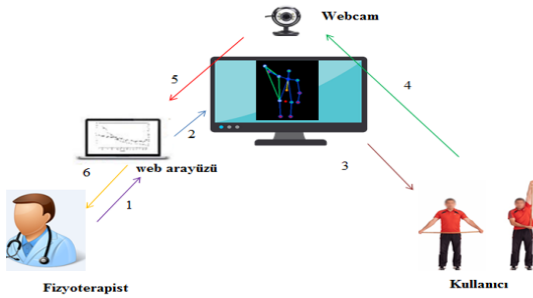
## 5. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada 3D hareket izleme sistemleri, Kinect V2 gibi donanımlara alternatif olabilecek gerçek zamanlı olarak insan iskelet sistemini tespit ve takibini yapabilen ve elde edilen veriler ile omuz hasarlı hastalar için egzersizleri doğru bir şekilde yaptırabilen bir sistem önerilmiştir. Önerilen sistemin 2 boyutlu görüntü algılaması bazı hareketlerin algılanmasını zorlaştırmaktadır. Ancak insan iskeletini gerçek zamanlı olarak 2 boyutlu izleyebilen sistemin, sadece dizüstü bilgisayar kamerası kullandığı, başka bir donanıma ihtiyaç duymadığı göz önüne alındığında sonuçlar umut verici olarak değerlendirilmektedir. Gelişen CPU ve GPU donanımları sayesinde önerilen sistemin gün geçtikçe daha efektif kullanılacağı düşünülmektedir.

Önerilen sistemde insan iskelet tespiti için kullanılan yöntem olan COCO Model temelli yöntemin bazı avantaj ve dezavantajları tespit edilmiştir. Önerilen sistemin Kinect v2 ve 3D hareket izleme sistemlerine göre en büyük dezavantajı, eklem noktalarını tespit edip, iskelet sistemini çizdirmesi sırasında birkaç saniyelik gecikmeler yaşanmasıdır. Yaşanan bu gecikme, yapılan egzersizlerin açılal ölçümlerinin de geç yapılması dolayısıyla başarımların tespitinin gecikmesi ve kullanıcının kendini fazladan birkaç saniye zorlaması anlamına gelmektedir. Kinect v2 saniyede 30 görüntü olarak görüntü işlemeyi kendi yapabilen cihaz olmasından dolayı bu tip gecikmeler yaşanmamaktadır. Benzer şekilde 3D hareket izleme sistemlerinde de kullanıcı izlenirken gecikmeler görülmemektedir. Önerilen uygulamanın avantajları ise Kinect tabanlı sistemler gibi

3D hareket izleme sistemlerine daha uygun alternatif olarak önerilen sistemlerden bile çok daha ucuza mal edilmesi, basit bir kamera dışında ek donanım ihtiyacının bulunmaması gösterilebilir. Ek donanım ihtiyacı olmadığı için taşınabilir ve mekândan bağımsız olarak kullanılması da bir diğer avantajı olarak sıralanabilir.

Gelecek çalışmalarda, önerilen sistemde uygulanan egzersiz sayılarının artırılması, doktor ve kullanıcının iletişime geçebileceği bir web uygulaması yapılması hedeflenmektedir. Bu öngörülen çalışmaların gerçekleştirilmesi ile oluşacak sistemin genel blok diyagramı Şekil 14'de gösterilmiştir.



Şekil 14. Genel blok diyagramı

## Teşekkür

Bu çalışmanın yapılması sırasında Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarındaki imkanlar Bitirme Çalışması dersi kapsamında kullanılmıştır.

## Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Sedef KILIÇÇEKEN, metod araştırması, sistemin geliştirilmesi, makale yazımı; Burakhan ÇUBUKÇU, sistemin geliştirilmesi, makale yazımı; Uğur YÜZGEÇ, sistemin geliştirilmesi, makale yazımı konularında katkı sağlamışlardır.

## Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

## Kaynaklar

- Barreira, C. C., Forner-Cordero, A., Grangeiro, P. M. ve Moura, R. T. (2020). Kinect v2 based system for gait assessment of children with cerebral palsy in rehabilitation settings. *Journal of Medical Engineering and Technology*, 44(4), 198–202. doi:10.1080/03091902.2020.1759709
- Bidargaddi, N. P. ve Sarela, A. (2008). Activity and heart rate-based measures for outpatient cardiac rehabilitation. *Methods of Information in Medicine*, 47(3), 208–216. doi:10.3414/ME9112

Cao, Z., Simon, T., Wei, S. E. ve Sheikh, Y. (2017). Realtime multi-person 2D pose estimation using part affinity fields. *Proceedings - 30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2017, 2017-Janua(Xxx)*, 1302–1310. doi:10.1109/CVPR.2017.143

Çubukçu, B. ve Çetin, A. (2016). Ms Kinect Applications And Opportunities For People. *International Multidisciplinary Conference* içinde (ss. 459–465).

Çubukçu, B. ve Yüzgeç, U. (2017). A Physiotherapy Application with MS Kinect for Patients with Shoulder Joint , Muscle and Tendon Damage. *The 9th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN 2017)* içinde (ss. 225–228). Girne, Kıbrıs. doi:10.1109/CICN.2017.49

Çubukçu, B., Yüzgeç, U., Zileli, R. ve Zileli, A. (2020). Reliability and validity analyzes of Kinect V2 based measurement system for shoulder motions. *Medical Engineering and Physics*, 76, 20–31. doi:10.1016/j.medengphy.2019.10.017

Çubukçu, B., Yüzgeç, U., Zileli, R. ve Zileli, A. (2018). A Kinect 2 Based Telerehabilitation Method for Shoulder Rehabilitation Exercises. *International Conference on Advanced Technologies, Computer Engineering and Science (ICATCES'18)* içinde (ss. 53–56).

Çubukçu, B., Yüzgeç, U., Zileli, A. ve Zileli, R. (2021). Kinect-based integrated physiotherapy mentor application for shoulder damage. *Future Generation Computer Systems*, 122, 105–116. doi:10.1016/j.future.2021.04.003

Dinvar, Y., Çubukcu, B. ve Yüzgeç, U. (2017). MS kinect based tracking application for knee anterior cruciate ligament physical therapy. *2nd International Conference on Computer Science and Engineering, UBMK 2017* içinde . doi:10.1109/UBMK.2017.8093485

Duarte, N., Postolache, O. ve Sharcanski, J. (2014). KSGphysio – Kinect Serious Game for Physiotherapy. *International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering, (Epe)*, 16–18. doi:10.1109/ICEPE.2014.6969981

Han, J., Shao, L., Xu, D. ve Shotton, J. (2013). Enhanced Computer Vision With Microsoft Kinect Sensor: A Review. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 43(5), 1318–1334. doi:10.1109/TCYB.2013.2265378

<http://cocodataset.org/> Erişim: 11 Eylül 2019

<https://arvrjourney.com/human-pose-estimation-using-openpose-with-tensorflow-part-2-e78ab9104fc8> Erişim: 11 Mayıs 2019

- <https://pdfs.semanticscholar.org/dfad/8f616bd2a05c8cae5f61060f743f966ece85.pdf>. Erişim: 11 Mayıs 2019.
- Lee, I.-M., Hsieh, C. ve Paffenbarger Jr, R. S. (1995). Exercise Intensity and Longevity in Men: The Harvard Alumni Health Study. *JAMA*, 273(15), 1179–1184. doi:10.1001/jama.1995.03520390039030
- Milosevic, B., Leardini, A. ve Farella, E. (2020). Kinect and wearable inertial sensors for motor rehabilitation programs at home: State of the art and an experimental comparison. *BioMedical Engineering Online*, 19(1), 1–26. doi:10.1186/s12938-020-00762-7
- Müller, B., Ilg, W., Giese, M. A. ve Ludolph, N. (2017). Validation of enhanced kinect sensor based motion capturing for gait assessment. *bioRxiv*, 14–16. doi:10.1101/098863
- Paffenbarger, R. S., Hyde, R., Wing, A. L. ve Hsieh, C. (1986). Physical Activity, All-Cause Mortality, and Longevity of College Alumni. *New England Journal of Medicine*, 314(10), 605–613. doi:10.1056/NEJM198603063141003
- Pedraza-Hueso, M., Martín-Calzón, S., Díaz-Pernas, F. J. ve Martínez-Zarzuela, M. (2015). Rehabilitation Using Kinect-based Games and Virtual Reality. *Procedia Computer Science*, 75(Vare), 161–168. doi:10.1016/j.procs.2015.12.233
- Rizzo, A. ve Kim, G. J. (2005). A SWOT analysis of the field of virtual reality rehabilitation and therapy. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 14(2), 119–146. doi:10.1162/1054746053967094
- Roy, A. K., Soni, Y. ve Dubey, S. (2013). Enhancing effectiveness of motor rehabilitation using kinect motion sensing technology. *2013 IEEE Global Humanitarian Technology Conference: South Asia Satellite (GHTC-SAS)*, 298–304. doi:10.1109/GHTC-SAS.2013.6629934
- Russell, T. G. (2007). Physical rehabilitation using telemedicine. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 13, 217–220. doi:https://doi.org/10.1258/135763307781458886
- Sadeghi Esfahlani, S., Muresan, B., Sanaei, A. ve Wilson, G. (2018). Validity of the Kinect and Myo armband in a serious game for assessing upper limb movement. *Entertainment Computing*, 27, 150–156. doi:https://doi.org/10.1016/j.entcom.2018.05.003
- Shaughnessy, M., Resnick, B. M. ve Macko, R. F. (2006). Testing a model of post-stroke exercise behavior. *Rehabilitation Nursing*, 31(1), 15–21. doi:10.1002/j.2048-7940.2006.tb00005.x
- Spear, B. A., Barlow, S. E., Ervin, C., Ludwig, D. S. ve Saelens, B. E. (2007). Recommendations for Treatment of Child and Adolescent Overweight and Obesity. doi:10.1542/peds.2007-2329F
- Tino, D. ve Hillis, C. (2010). The full can exercise as the recommended exercise for strengthening the supraspinatus while minimizing impingement. *Strength and Conditioning Journal*, 32(5), 33–35. doi:10.1519/SSC.0b013e3181d54721
- Weiss, P. L., Rand, D., Katz, N. ve Kizony, R. (2004). Video capture virtual reality as a flexible and effective rehabilitation tool. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 1, 1–12. doi:10.1186/1743-0003-1-12
- Xavier-Rocha, T. B., Carneiro, L., Martins, G. C., Vilela, G. de B., Passos, R. P., Pupe, C. C. B., ... Monteiro, R. S. (2020). The xbox/kinect use in poststroke rehabilitation settings: A systematic review. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, 78(7), 361–369. doi:10.1590/0004-282X20200012