

Serebral Palsili Çocuklar için Giyilebilir Robotik Sistem Tasarımı ve Simülasyonu

Design and Simulation of Wearable Robotic System for Children with Cerebral Palsy

Salih Özkan¹, Hayriye Altural^{2*} ve Gizem Yılmaz²

¹Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, Türkiye

²Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, Türkiye

*Sorumlu yazar: ahayriye@kastamonu.edu.tr

Özet – Serebral palsy (SP), beyinde gerçekleşen ve progresif olmayan hasarlara bağlı olarak hareket kısıtlamasına sebebiyet veren bir tür kas aktivitesi sorunudur. Bu kas aktivitesinin normal çalışmaması kalıcı hareket ve postür gelişim bozukluğuna neden olmaktadır. Bu hastalığa maruz kalan çocukların yürüme olanakları motor gelişim sürecine bağlı olarak değişmektedir. Fizik tedavi ve rehabilitasyon, vücudun motor fonksiyonlarını korumak ve iyileştirmek için temel bir tedavi yöntemi olarak kabul görmektedir. Bu yüzden fizik tedavi ve rehabilitasyon, SP’li çocukların tedavisinde merkezi bir rol oynamaktadır. Kas aktivitesi düşük hastalar için tasarlanan robotik yürüteçler; fonksiyonel kas gücünü, dengeyi, yürüme hızını, dayanıklılığı ve fonksiyonel yürüyüş performansını arttırabilmektedir. Dolayısıyla kullanılan mekanik yürüteç düzenekleri, SP’li çocuklar için alt ekstremite kontrolü sağlayarak kas koordinasyonlarını güçlendirmekle birlikte onların yaşam kalitesini arttırmaya da olanak sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı fizik tedavi ve rehabilitasyona yönelik SP’nin neden olduğu kas hareketlerine bağlı yürüme bozukluğunu iyileştirmek için vücut hareketlerini ve kas koordinasyonunu destekleyici robotik yürüteç tasarımına yönelik simülasyon gerçekleştirmektir. Bu amaç doğrultusunda robotik sistem destekli bir yürüteç ile yürüme işleminin gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Burada tasarlanan sistemin donanımsal ve yazılımsal olarak çocuğun yapacağı hareketi önceden algılayıp, servo motor sistemini harekete geçirmesi ve kontrollü bir şekilde yürütmeyi sağlaması için sistemin görsel simülasyonu Unity 3D oyun motoru ile gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucu elde edilen veri seti için algoritma geliştirilmiş ve hastanın yaptığı hareketler sanal bir ortamda izlenmiştir. Bu izleme ile anlık olarak en uygun hareket-zaman konumlandırması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler – Giyilebilir, robotik sistem, serebral palsy, simülasyon, Unity 3D

Abstract – Cerebral palsy (CP) is a type of muscle activity problem that causes movement restriction due to non-progressive damage to the brain. Failure of this muscle activity to work normally causes permanent movement and posture development disorder. The walking possibilities of children exposed to this disease vary depending on the motor development process. Physical therapy and rehabilitation are accepted as a basic treatment method to protect and improve the motor functions of the body. Therefore, physical therapy and rehabilitation play a central role in the treatment of children with CP. Robotic walkers designed for patients with low muscle activity can increase functional muscle strength, balance, walking speed, endurance and functional gait performance. Thus, the mechanical walker mechanisms used provide strengthening of muscle coordination by providing lower extremity control for children with CP, and also allow them to improve their quality of life. The aim of this study is to simulate the design of a robotic walker to support body movements and muscle coordination to improve gait disturbance due to CP, for physical therapy and rehabilitation. For this purpose, it is aimed to perform walking process with a walker supported by robotic system. Here, the visual simulation of the system was realized with Unity 3D game engine in order to enable the system to perceive the movement of the child in advance, to activate the servo motor system and to provide a controlled walking. The algorithm was developed for the data set obtained from the simulation and the patient's movements were monitored in a virtual environment. With this monitoring, the most appropriate motion-time positioning is performed instantly.

Keywords – Wearable, robotic system, cerebral palsy, simulation, Unity 3D

I. GİRİŞ

Serebral palsy (SP), çocuklarda fonksiyonel motor bozukluğu ve sakatlığı ile sonuçlanan nörogelişimsel bir hastalıktır [1]. SP’nin temel nedeni beyin felci olmakla birlikte gelişmekte olan fetüsün ya da bebeğin beyinde oluşabilen ilerleyici olmayan hasarlara bağlı, hareketlerin kısıtlamasına sebebiyet veren bir grup kalıcı hareket kısıtlılığı ve duruş bozukluğudur. Aynı zamanda, SP’ye neden olan beyin felci

motor sistem bozuklukları sıklıkla duyu, algı, iletişim ve davranış bozuklukları, epilepsi ve ikincil kas-iskelet sistemi sorunlarını da beraberinde getirmektedir [2]. Spastik SP’li hastalar tutulan vücut bölgesine bağlı olarak hemiplejik, diplejik ve kuadriplejik olarak sınıflandırılır. Spastik SP’li çocuklar yürüme aşamasında yere basarken ayak bileği plantar fleksörleri için yeterli güç sağlayamazlar. Her yürüme döngüsünde iç doku sürtünmesi ve ayak teması sırasındaki etki

nedeniyle enerjinin bir kısmı kaybolur. Bu nedenle çocukların sağlıklı bir şekilde hareket etmesini sağlamak için, her döngüde uygun zamanda kas kasılması ile enerji üretmek gerekir [3].

Günümüzde SP'nin tedavisinde günlük yaşamı kolaylaştırmaya yönelik fizik tedavi ve rehabilitasyon uygulamaları, ortez ve yürüteç gibi yürümeye yardımcı ve yürümeyi destekleyici cihazların kullanımı, oral ilaç tedavileri, botulinum toksin uygulamaları, intratekal baklofen tedavisi ve son yıllarda uygulanan kök hücre tedavisi etkin rol oynamaktadır. Tam bir tedavi mümkün olmamakla birlikte, bu mevcut tedavi seçeneklerinden en uygun tedavi yöntemlerinin seçilmesi tedavide optimal sonuçlar vermede önem arz etmektedir [4].

Yürüme, iskelet ve nöromotor sistemlerin etkileşiminin dinamik bir sonucudur. Bu sistemlerde, SP gibi rahatsızlıkların yarattığı disfonksiyonlara sekonder yürüme bozukluğu gelişebilir. Yürüme analizi değerlendirmesi, yalnız yürüme bozukluklarının tanısının konulmasında değil, aynı zamanda tedavinin planlanmasında da yardımcı olmaktadır. Yürüme analizi sayesinde elde edilen sayısal bilgiler, klinisyenlerin cerrahi tedavi (osteotomi, tendon uzatma/transfer/gevşetme), fizik tedavi, uygun ortez veya protez seçimi konusunda karar vermesinde yardımcı olmaktadır [5].

Son yayımlar, SP'li kişilerin fonksiyonel becerilerinin telafi ve rehabilitasyonu için robot destekli tedavilerin etkili bir araç olabileceğini göstermiştir [6]-[8]. Örneğin, Wu vd. [9] taşınabilir bir rehabilitasyon robotu kullanan, motive edici oyunlarla, pasif germe ve aktif hareket antrenmanının etkinliğini araştırmaya yönelik çalışma yapmışlardır. Zhao vd. [10] SP'li hastalar için aktif eğitim sırasında ayak bileği rehabilitasyon robotunu kullanmışlardır. Alazem vd. [11] SP'li bireyler için yerleşik mekanik bir asansörü olan bir robotik yürüteç prototipi tasarlamışlardır. Bayón vd. [12] SP'li hastalarda yürüyüş rehabilitasyonu için akıllı bir yürüteç ve dış iskeletten oluşan, çok modlu insan-robot arabirimine sahip bir robotik platform sunmuşlardır. Mun vd. [8] bir vücut ağırlığı destek ünitesi ile pelvik kas hareketlerini kolaylaştırabilen bir robotik yürüteç kullanarak, 10 m'lik ve 10'ar dakikalık bir yürüyüş sırasında, belirli aralıklarla değişen vücut ağırlığını azaltma seviyeleri ile yürüme parametrelerini karşılaştırmışlardır. Halen temsili sayıda denek ile yapılan klinik çalışmaların eksikliği nedeniyle robot temelli tedavinin, özellikle de uzun vadeli etkisinin değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır. Bilişsel özelliklerin terapilere dahil edilmesi ve sanal senaryoların tasarımı robotik cihazlar ile birlikte umut verici sonuçlar sağlar [6].

Unity 3D, 3-boyutlu uygulamalar ve etkileşimli sanal gerçeklik ortamları geliştirmek için birçok alanda yaygın olarak kullanılan bir oyun geliştirme platformudur ve gerçek zamanlı işleme motorudur [13]. Unity Technologies tarafından geliştirilen Unity 3D, entegre bir tasarım ve geliştirme aracı olmakla birlikte içerisinde video oyunu, mimari görselleştirme ve üç boyutlu animasyonlar kolayca oluşturulabilmektedir. Bu oyun motoru resim, ses, fiziksel özellikler ile birlikte etkili bir editör sunabilmektedir. Unity 3D, hemen hemen tüm 3 boyutlu animasyon formatlarını destekler. Ayrıca C# ve JavaScript dillerini kullanan bu program Windows, Mac, Linux, Web, IOS, Android, Xbox360 ve PlayStation'ı platformlarını destekleyebilmektedir [14]. Buna ek olarak, gerçek zamanlı görselleştirme, yapay zeka, çarpışma kontrolü, üç boyutlu modelleme yazılımlarından veri aktarımı, çoklu kullanıcı

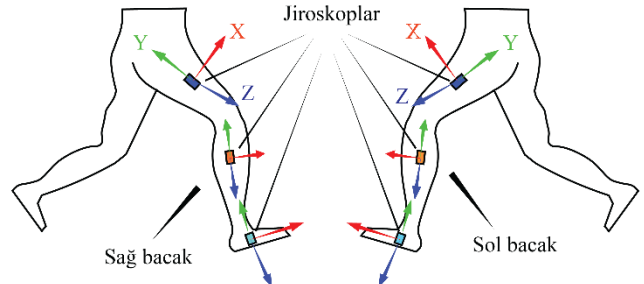
desteği, öğretici arayüzler oluşturma imkanı gibi özellikler içerir [15].

Literatürde Unity 3D ile yapılmış biyomekanik çalışmalar [16]-[18] olmasına rağmen SP hastalarının kas motorlarının düzenli olarak hareketini sağlayacak robotik yürüteç tasarımına yönelik gerçek zamanlı çalışan örnek bir simülasyon çalışması yer almamaktadır. Yaptığımız çalışma bu eksikliği gidermeye yönelik atılmış önemli bir adımdır.

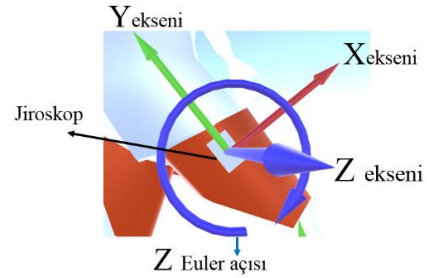
II. GEREÇ VE YÖNTEM

A. Robotik Yürüteç için Jiroskop Sensörlerinin Yerleştirilmesi

Robotik yürüteç tasarımı için 6 adet jiroskop kullanılmıştır. Bu jiroskoplardan üçü vücudun sağ tarafına (ayak ve bacak bölgelerine), diğer üçü ise vücudun sol tarafına Şekil 1'deki gibi yerleştirilmiştir. Sensörlerin bu şekilde yerleşim nedeni, eklem hareketlerine bağlı olarak açısal değişimlerin daha kolay algılanmasıdır. Yürüyüş hareketlerinin belirlenmesinde bu sensörlerin Z eksenine ait Euler açısal değerleri baz alınmıştır. Bunun nedeni ise hastanın ileriye veya geriye doğru yürümesini sağlamaktır. Jiroskobun Z eksenine ait Euler açısı Şekil 2'de yer almaktadır. Yürüyüş anında bu açısal değerler 0-359 arasında değişmekle birlikte saat yönünde artış göstermektedir.



Şekil 1. Jiroskop sensörlerinin yerleşimi



Şekil 2. Z eksenine ait Euler açısı

B. Simülasyon Nesnelerinin 3D Modellenmesi ve Animasyon Tasarımı

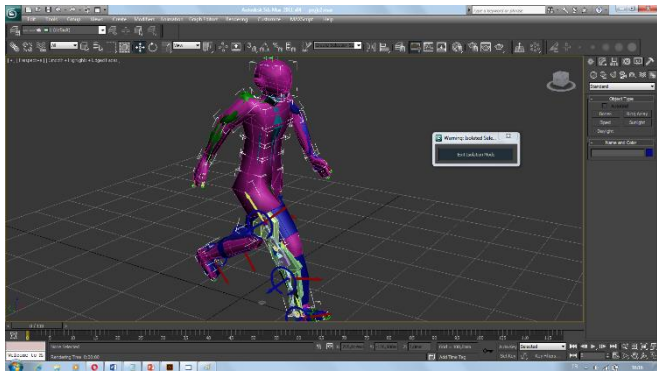
Simülasyon nesnelerinin 3D modellenmesi ve animasyon tasarımı için 3D Studio Max programı kullanılmıştır. İnsan modelinin animasyonunu gerçekleştirmek için insan iskeleti özelliklerini taşıyan "biped" nesnesinden yararlanılmıştır. Şekil 3'de 3D Studio Max programının genel görünümü ve "biped" nesnesi yer almaktadır.

İskelet yapısında olan "biped" nesnesi tasarlanan 3D insan modeline Şekil 4'teki gibi birleştirilmiş ve nesne, animasyon zaman çizelgesindeki farklı çerçevelerde sabitlenerek otomatik olarak yürüme hareketi verilmiştir. Bu şekilde animasyon işlemi tamamlanmıştır. Jiroskoplar, servo motorlar ve eksenler de "biped" nesnesine eklendikten sonra animasyon ".fbx" uzantılı bir dosya olarak Unity 3D programına dahil

edilmiş ve Unity 3D programında “walk” adı ile etiketlenmiştir. Kodlamalarda animasyonun başlatılması için bu etiket kullanılmıştır.



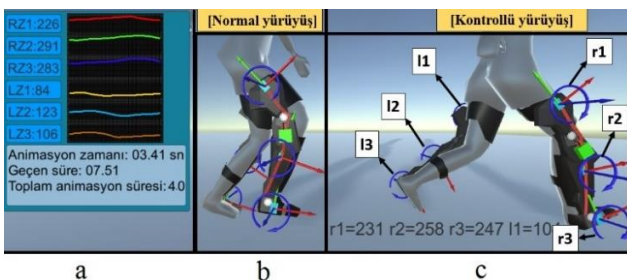
Şekil 3. “biped” nesnesi



Şekil 4. İnsan modeli ile “biped” nesnesinin birleştirilmesi

C. Unity 3D Programında Kullanıcı Arayüzünün Tasarlanması

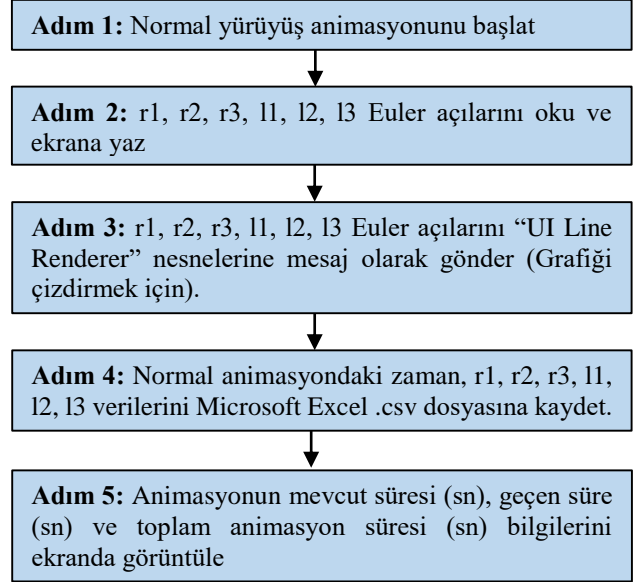
Kullanıcı arayüzü nesnelere Şekil 5’te görüldüğü gibi tasarlanmıştır. Simülasyonda aynı insan modelinden iki tane bulunmaktadır. Bunlardan birinde normal yürüme animasyonu (Şekil 5b) gerçekleşmektedir. Normal yürüyüş anında eş zamanlı olarak 6 jiroskoptan elde edilen Z Euler açısıl verileri Şekil 5a’da etiketler içerisinde görüntülenmiştir. Bu etiketlerin hemen sağında “UI Line Renderer” nesnesi ve bu değerler ile oluşturulmuş sinyaller görüntülenmiştir. Bu sinyaller “draw_signal.cs” adındaki bir dosyanın içerdiği kodlarla kontrol edilmiştir. Sinyallerin hemen altında normal yürüyüşe ait animasyonun anlık zamanını, geçen süreyi ve toplam animasyon süresini göstermektedir. Şekil 5c’de görüldüğü gibi vücudun sağ tarafına yerleştirilen jiroskoplar yukarıdan aşağıya doğru “r1, r2, r3” olarak isimlendirilmiştir. Vücudun sol tarafındaki jiroskoplar da yukarıdan aşağıya doğru “l1, l2, l3” olarak adlandırılmıştır. Bu değerler Z eksenine ait açısıl değerlerdir ve sadece Şekil 5b’de yer alan modele ait nesnelere aittir.



Şekil 5. a) Z Euler açısıl verileri, b) Normal yürüme, c) Jiroskoplar için belirlenen etiketler

D. Normal Yürüyüş Animasyonundan Veri Setinin Oluşturulması

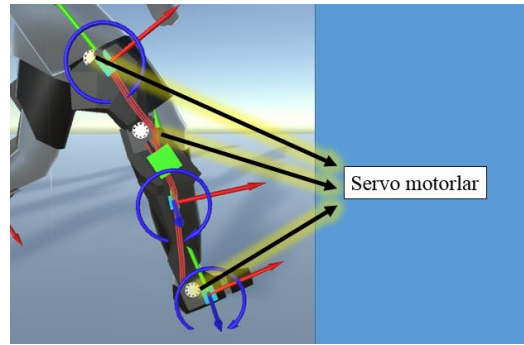
Normal yürüyüşün gerçekleştirildiği Şekil 5b’deki modele ait kontroller “control.cs” dosyası ile kontrol edilmiştir. Bu dosyada yer alan kodlara ait algoritma yapısı Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. “control.cs” algoritma yapısı

E. Servo Motorların Yerleşimi

Bu yöntemle robotik yürütece yerleştirilen servo motorların hareket yönlerinin belirlenebileceği öngörülmüştür. Sağ bacak ve sağ ayakta yer alan servo motorlar simülasyon ortamında Şekil 7’deki gibi eklem bölgelerine yerleştirilmiştir. Aynı şekilde sol bacak ve ayakta da servo motorlar yer almaktadır.



Şekil 7. Servo motorların yerleşimi

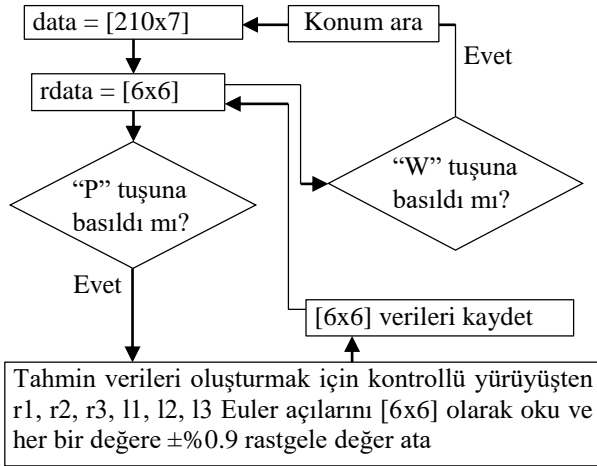
III. ELDE EDİLEN BULGULAR

Normal yürüyüşten elde edilen veriler “.csv” uzantılı dosyaya kaydedildikten sonra veri seti Python dili ile “.xlsx” uzantılı Microsoft Excel dosyasına dönüştürülmüştür. Normal yürüyüş animasyonundan elde edilen veri seti Şekil 8’de görülmektedir. Şekil 8’de görüldüğü gibi “Zaman” sütununun altında yer alan değerler animasyon zamanını saniye olarak göstermektedir. Bahsi geçen şekilde animasyonun toplam süresinin 4.02868 sn olduğu görülmektedir. Aynı zamanda jiroskopların Z eksenlerine ait Euler açısıl verilerinin de eş zamanlı olarak aktarıldığı görülmektedir.

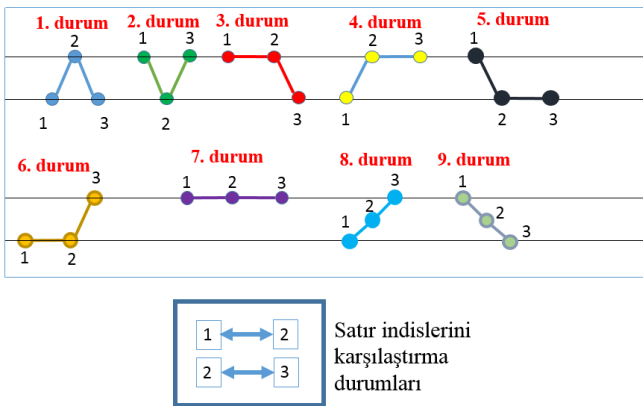
	A	B	C	D	E	F	G
1	Zaman	r1	r2	r3	l1	l2	l3
2	0	0.64345	0.71866	0.68802	0.28969	0.42061	0.40111
3	0.02	0.64345	0.71866	0.68802	0.28969	0.42061	0.40111
4	0.28982	0.64624	0.76045	0.73816	0.28412	0.45404	0.43454
...
211	4.02868	0.64345	0.71866	0.68802	0.28969	0.42061	0.40111

Şekil 8. Veri seti yapısı

Şekil 9’da “animasyon.cs” dosyasının içerisinde yer alan kodlara ait algoritma yapısı yer almaktadır. Bu kodlar ile Şekil 5c’de yer alan modelin animasyon zamanı konumlandırılmıştır. Bahsi geçen şekilde yer alan algoritma yapısına göre başlangıçta normal yürüyüşten elde edilen 210 satır 7 sütunluk tüm veriler “data” değişkenine aktarılmıştır. Klavyeden “P” tuşuna basıldığında kontrollü yürüyüşte mevcut yürüme hareketinden itibaren animasyon başlatılmış ve 3 satırlık “r1, r2, r3, l1, l2, l3” verileri alındıktan sonra kontrollü yürüyüşün gerçekleştirildiği modele ait animasyon durdurulmuştur. Animasyonun durdurulma işlemi sonrasında bu 3 satırlık veriler “rdata” değişkenine aktarılmış ve elde edilen bu veriler “data” matrisinde aratılmıştır. Bu arama işleminde kullanılan algoritma yapısı Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 9. “animasyon.cs” algoritma yapısı



Şekil 10. Matris verilerinin karşılaştırılması

Bu algoritmaya göre “data” içerisindeki 1. ve 2. satırlar ile birlikte 2. ve 3. satırların karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma düzeni değer seviyelerine göre yapılmıştır.

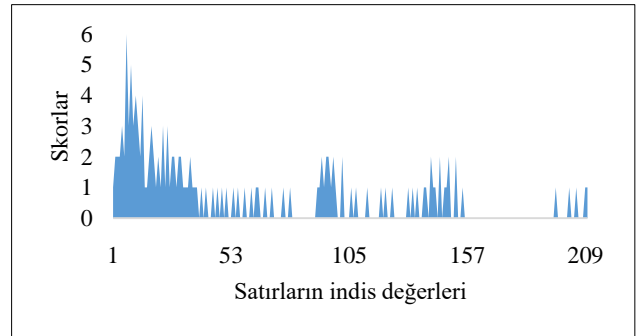
Örneğin, 1. duruma göre 2. satırda bulunan verinin değeri aynı sütunda bulunan 1. satırdaki değerden büyüktür. Aynı zamanda, 2. satırdaki veri aynı sütunda bulunan 3. satırdaki veriden büyüktür. 9 durum için tüm sütunlarda karşılaştırma yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar her iki matris için 6 satır 6 sütun olarak yapılmıştır.

F. Karşılaştırmaların Skorlanması

Şekil 10’deki karşılaştırmalar sonucunda kontrollü yürüyüş animasyonunun “data” matrisindeki “Zaman” sütunu içerisinde hangi konumda olması gerektiği belirlenmiş ve animasyonun devam edeceği zaman konumu belirlenmiştir. Bu konumun belirlenmesi bahsi geçen şekildeki algoritma yapısına göre gerçekleştirilen karşılaştırmalar sonucunda Şekil 11’de görüldüğü gibi skorlama işlemi ile yapılmıştır. Bu skorlama değerleri karşılaştırmaların 0/1 sonuçlarının toplanması ile elde edilmiştir. Bahsi geçen şekilde yer alan “*” işareti maksimum skoru göstermektedir. Bu değer karşısında bulunan “Zaman” sütunundaki değere animasyon konumu belirlenmiştir. Kontrollü yürüyüşte animasyon belirli bir süre için bu konumdan itibaren başlatılmıştır. Şekil 12’de skorlama grafiği verilmiştir. Bu grafikte görüldüğü gibi 7. satırda tahmin değeri maksimum düzeye ulaşmıştır.

Zaman	Karşılaştırmalar	0/1	SKOR
0	0 1 0 0 0 0	0	1
0,02	1 0 0 1 0 0	2	2
0,28982	1 0 0 1 0 0	2	2
0,32365	1 0 0 1 0 0	2	2
0,35365	1 0 1 1 0 0	3	3
0,38453	1 0 0 1 0 0	2	2
0,40508	1 1 1 1 1 1	6	*
0,42476	1 0 0 1 1 0	3	3
0,44434	1 1 1 1 1 0	5	5
0,4635	1 0 0 1 1 0	3	3
0,48311	1 1 0 1 1 0	4	4

Şekil 11. Skorlama işlemi



Şekil 12. Skorlama grafiği

SP hastaları için gerçekleştirilen bu sistemde hastanın yürüyüş adımları izlenmiş ve normal yürüyüş hareketleri ile zamana bağlı olarak karşılaştırılmıştır. Hasta için oluşturulan ve kontrollü yürüyüşün sağlandığı modelden gerçek zamanlı olarak alınan veriler normal yürüyüşe ait verilerle tasarlanan bir algoritma göre karşılaştırılmış ve skorlama işlemi yapılarak hastanın hareketleri sisteme öğretilmiştir. Kontrollü yürüyüş hareketleri bilgisayarın klavyesinden “P” ve “W” tuşları ile izlenmiş ve hastanın yapması gereken doğru adım için uygun zaman konumu belirlenmiştir. Kontrollü yürüyüş ve normal yürüyüşten elde edilen verilerin karşılaştırılmasında 3x6 matrisin satır sayısının artırılmasıyla karşılaştırmada

kullanılacak kombinasyon sayısının artacağı ve böylece kontrollü yürüyüş daha iyi sonuçlar verebilecektir. Elde ettiğimiz veriler ve bu verilerin anlamlandırılmasında kullanılan algoritma yapısı, kontrollü yürüyüşün sağlanması amacıyla kullanılacak servo motorların hareketi için oluşturulması düşünülen algoritmaya temel oluşturmuştur. Kullanılan algoritma ve skorlama sonuçlarına göre yürüme hareketi gerçekleştirilmiştir.

IV. TARTIŞMA

Çalışma sonucunda elde edilen test sonuçlarının servo motorların hareketlerinin belirlenmesinde yön verici olduğu, sistemin kararlı bir şekilde çalıştığı ve simülasyon ortamının gerçek ortama yakın özellikler gösterdiği sonucuna varılmıştır. Daha önce SP hastaları için Unity 3D simülasyon ortamında yapılan bir çalışma bulunmamaktadır. Sensör konumları ve yürüyüş hareketlerine bağlı olarak 6 adet Z Euler açısından verilerin elde edilmesi, Unity 3D içerisinde gerçek zamanlı olarak tasarlanan algoritma yapısı ile sistem öğrenmelerinin gerçekleştirilmesi yönüyle çalışmamız özgünlük taşımaktadır.

Hastaların bağımsız hareket deneyimleri yaşamaya başlamalarını sağlayan bu robot temelli tedaviler [6], SP'li hastaların daha erken rehabilitasyon tedavisine dahil edilmesini teşvik etmeyi amaçlar ve egzersizlerin yoğunluğunu ve sıklığını artırırlar. Bunlar ayrıca, tedavi sonuçlarında önemli gelişmelere öncülük etmek amacıyla terapötik yöntemlerin günlük olarak korunmasını sağlamaktadırlar. Çok modlu insan-robot arabirimi, hasta ile robotik cihaz arasında bir iletişim veri yolu oluşturmak için hem merkezi hem de periferik sinir sistemi bilgilerini entegre etmek amacıyla tasarlanmış bir arayüzdür [6]. Bu arayüzle, hastanın fiziksel ve bilişsel müdahaleleri teşvik etmesi ve tedavilerin hastanın ihtiyaçlarına daha iyi adapte olması amaçlanır. Tasarlanan yenilikçi yürüyüş yardımcısının [7] etkinliğini değerlendirebilmek ve istatistiksel yorumlamalar yapabilmek için çok sayıda klinik çalışmalara ihtiyaç vardır.

Vücut ağırlık desteği (BWS) ile ilgili yapılan çalışmaya [8] göre BWS'nin nörolojik açıdan zor hastalar için daha iyi fonksiyonel sonuçlar sağlayacağı, BWS'nin yürüyüş rehabilitasyonundaki etkinliğine rağmen BWS eğitiminin biyomekanik etkilerine ilişkin bulguların hala çelişkili kaldığı sonucuna varılmış ve bu nedenle BWS'nin etkilerinin kapsamlı bir şekilde araştırılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bunun sonucu olarak yapılacak sonraki çalışmada BWS'ye yönelik fiziksel parametrelerin de göz önünde bulundurulması gerektiği belirlenmiştir. [9]-[12]'deki çalışmaların tekrarlanan işlemleri hem maliyetli hem de zaman alıcıdır. Yapılan bu simülasyon çalışmasıyla gerçekleştirilecek diğer çalışmalara hızlı ve pratik çözümler sunmak ve çalışmaların sistem maliyetini en aza indirmek için görsel ve yazılımsal bir simülasyon ile ön çalışmaların yapılmasının gerekliliği ortaya konulmuştur. Yazılımsal ve görsel simülasyon ortamı ile deney tasarımı ve deney sonuçları kolay bir şekilde gerçek zamanlı olarak gözlemlenebilmiş ve gözlem sonucunda elde edilen veri seti belirlenen bir algoritma ile yorumlanmıştır.

V. SONUÇ

Sonuç olarak SP hastalarının fizik tedavi ve rehabilitasyonuna yönelik etkili bir çalışma gerçekleştirilmiş ve gerçek ortama yakın bir simülasyon ortamında hastanın yürüme hareketleri izlenmiştir. Tasarlanan yazılımsal algoritma ile gerçek zamanlı olarak hastanın hareketleri sisteme öğretilmiş ve bu öğrenmeler ile hastanın yapması

gereken yürüme hareketi belirlenmiştir. Sonraki çalışmalarda eklem bölgelerine yerleştirilecek servo motorların tasarlanan algoritmaya göre dönüş hareketleri test edilecektir. Bunun için de oluşturulması düşünülen yeni bir algoritma yapısı ile tasarlanan algoritma birleştirilerek motorların kontrollü yürüyüşten elde edilen öğrenmelere göre hareketi sağlanacaktır. Ayrıca, çalışmanın ilerleyen aşamaları için elektroensefalografi (EEG) ve elektromiyografi (EMG) sinyallerine yönelik çalışmaların gerçekleştirilmesi ve bu çalışmaların tasarlanan sistemle tümleşik hale getirilmesi hedeflenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] C. A. Chaze, G. McIlvain, D. R. Smith, G. M. Villermaux, P. L. Delgorio, H. G. Wright, K. J. Rogers, F. Miller, J. R. Crenshaw, and C. L. Johnson, "Altered brain tissue viscoelasticity in pediatric cerebral palsy measured by magnetic resonance elastography," *Neuroimage Clin*, vol. 22, pp.1-7, Mar. 2019.
- [2] M. Kerem Günel, "Fizyoterapist bakış açısıyla beyin felçli çocukların rehabilitasyonu," *Acta Orthop Traumatol Turc*, vol. 43(2), pp. 173-180, Mar. 2009.
- [3] S. T. Fonseca, K. G. Holt, L. Fetters, and E. Saltzman, "Dynamic resources used in ambulation by children with spastic hemiplegic cerebral palsy: relationship to kinematics, energetics, and asymmetries," *Phys Ther*, vol. 84(4), pp. 344-354, Apr. 2004.
- [4] S. Özel, C. Çulha, S. Ünsal-Delialioğlu, İ. F. Sarı, and K. Köklü, "Serebral palsili çocuklarda Kaba Motor Fonksiyon Sınıflama Sistemi düzeyleri ve tedavi yöntemleri arasındaki ilişki," *Turk J Phys Med Rehab*, vol. 62(2), pp. 116-122, May. 2015.
- [5] D. G. Whitney, E. A. Hurvitz, M. J. Devlin, M. S. Caird, Z. P. French, E. C. Ellenberg, and M. D. Peterson, "Age trajectories of musculoskeletal morbidities in adults with cerebral palsy," *Bone*, pp. 285-291, Sep. 2018.
- [6] C. Bayon, R. Raya, S. L. Lara, O. Ramirez, J. Serrano, and E. Rocon, "Robotic therapies for children with cerebral palsy: a systematic review," *Transl Biomed*, vol. 7(1), pp. 1-10, Feb. 2016.
- [7] N. Smania, M. Gandolfi, V. Marconi, A. Calanca, C. Geroïn, S. Piazza, ... and D. Conte, "Applicability of a new robotic walking aid in a patient with cerebral palsy," *Eur J Phys Rehabil Med*, vol. 47(2), pp. 1-7, Apr. 2011.
- [8] K. R. Mun, S. B. Lim, Z. Guo, and H. Yu, "Biomechanical effects of body weight support with a novel robotic walker for over-ground gait rehabilitation," *Med Biol Eng Comput*, vol. 55(2), pp. 315-326, Feb. 2017.
- [9] Y. N. Wu, M. Hwang, Y. Ren, D. Gaebler-Spira, and L. Q. Zhang, "Combined passive stretching and active movement rehabilitation of lower-limb impairments in children with cerebral palsy using a portable robot," *Neurorehabil Neural Repair*, vol. 25(4), pp. 378-385, May. 2011.
- [10] H. Zhao, Y. N. Wu, M. Hwang, Y. Ren, F. Gao, D. Gaebler-Spira, and L. Q. Zhang, "Changes of calf muscle-tendon biomechanical properties induced by passive-stretching and active-movement training in children with cerebral palsy," *J Appl Physiol*, vol. 111(2), pp. 435-442, Aug. 2011.
- [11] H. Alazem, A. McCormick, S. G. Nicholls, E. Vilé, R. Adler, and G. Tibi, "Development of a robotic walker for individuals with cerebral palsy," *Disabil Rehabil Assist Technol*, pp. 1-9, Apr. 2019.
- [12] C. Bayon, O. Ramirez, J. I. Serrano, M. D. Del Castillo, A. Pérez-Somarrriba, J. M. Belda-Lois, ... and E. Rocon, "Development and evaluation of a novel robotic platform for gait rehabilitation in patients with Cerebral Palsy: CPWalker," *Robot Auton Syst*, vol. 91, pp. 101-114, May. 2017.
- [13] S. Gonizzi Barsanti, G. Caruso, L. L. Micoli, M. Covarrubias Rodriguez, and G. Guidi, "3D visualization of cultural heritage artefacts with virtual reality devices," in *25th International CIPA Symposium*, 2015, pp. 165-172.
- [14] J. Wu, Y. Li, Q. Liu, G. Su, and K. Liu, "Research on Application of Unity3D in Virtual Battlefield Environment," in *2nd International Conference on CAAL*, 2017, pp. 465-468.
- [15] C. Altın and O. Er, "Realization of Flight Control System in Virtual Reality Environment with Biological Signals," *Elec Lett Sci Eng*, vol. 13(1), pp. 31-38, Jul. 2017.

- [16] H. S. Shin, A. Ganiev, and K. H. Lee, "Design of a Virtual Robotic Arm based on the EMG variation," *ASTL*, vol. 113, pp.38-43, 2015.
- [17] C. P. Guimarães, V. Balbio, G. L. Cid, M. I. Orselli, A. P. Xavier, A. S. Neto, and S. C. Corrêa, "3D Interactive Environment Applied to Fencing Training," in *Proc. icSPORTS*, 2016, pp. 39-43.
- [18] B. Sarupuri, S. Hoermann, F. Steinicke, and R. W. Lindeman, "Triggerwalking: a biomechanically-inspired locomotion user interface for efficient realistic virtual walking," in *Proc. of the 5th Symposium on Spatial User Interaction*, 2017, pp. 138-147.