



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Termoelektrik Modül Kullanılarak Gerçekleştirilen Bilgisayar Tabanlı Fizik Tedavi Cihazı

Metin YILDIZ ^{a,*}, A. Erdem GUNT ^a, Pelinsu ER ^a, Veli GÜRLER ^a, M. İrem NANEÇİ ^a

^a *Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Başkent Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE*

* *Sorumlu yazarın e-posta adresi: myildiz@baskent.edu.tr*

ÖZET

Sıcak ve soğuk uygulamalar, fizik tedavide çok kullanılan tedavi yöntemlerindedir. Geleneksel yöntemlerde, tedavi edici etkiyi sağlamak için doku sıcaklığı; sıcak ve soğuk torbalar veya su havuzları ile belirli sıcaklık aralıklarında tutulmaya çalışılmaktadır. Bu çalışmada, dokunun sıcaklığını, bilgisayardan girilen süre boyunca tedavinin uygulandığı sıcaklıkta tutmaya yarayan, bilgisayar kontrollü bir fizik tedavi cihazı tanıtılmıştır. Doku sıcaklığının değiştirilmesi için termoelektrik modüllerin kullanıldığı cihazda, sıcaklığın sabit tutulması için aç-kapa kontrol yöntemi uygulanmıştır. Cihazın klinik uygulamalarda kullanılıp kullanılmayacağını test etmek için; geleneksel uygulama ile karşılaştırmalı deneyler yapılmıştır. Geliştirilen sistemle, hem sıcak hem de soğuk uygulama için, tedavi edici sıcaklık aralığına daha çabuk ulaşıldığı, sıcaklığın tedavinin geri kalanı boyunca belirlenen sıcaklık değeri çevresinde küçük bir dalgalanma ile ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) sabit tutulabildiği görülmüştür. Sistemin, teknik açıdan klinik uygulamalara imkân verecek yapıda olduğu sonucuna varılmıştır. Sistemin klinikte kullanımı, hasta ve fizyoterapistler açısından çeşitli avantajlar sağlayabilecek, yeni araştırmaların önünü açabilecektir.

Anahtar Kelimeler: *Termoelektrik modüller, Peltier, Veri Toplama Sistemleri, Sıcak ve soğuk fizik tedavi uygulamaları*

Computer Based Physiotherapy Device Using Thermoelectric Modules

ABSTRACT

Hot and cold applications are commonly used methods in physical therapy. In conventional methods; hot and cold bags or pools are used to keep tissue temperature within a certain temperature range to provide therapeutic effect. In this study, a computer controlled physical therapy device was introduced to keep the temperature of tissue at the treatment temperature during the period entered from the computer. In the device where the peltiers were used as the heat-changing elements, the on-off control method was applied to keep the temperature constant. In order to test whether the device can be used in clinical practice, comparative experiments with

conventional practice have been conducted. It has been reached more quickly the therapeutic temperature range with the developed system at the both of hot and cold application. It has been observed that the temperature can be kept constant during the rest of the treatment with a small fluctuation ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) around the specified temperature value. It has been decided that the system is technically feasible in clinical applications. Clinical use of the system may provide various benefits for patients and physiotherapists and may open up new research.

Keywords: Thermoelectric modules, Peltier, Data Acquisition Systems, Hot and cold physiotherapy applications

I. GİRİŞ

Sıcak ve soğuk uygulamalar fizik tedavide en sık kullanılan tedavi yöntemlerindedir. Sıcak uygulanan bölgedeki kaslarda gevşeme meydana gelir. Kasların gevşemesi sonucu damarların elastikiyeti artar ve damar çeperleri genişler. Damar çeperlerinin genişlemesiyle kan dolaşımında hızlanma meydana gelir. Böylece hasarlı dokuların kendini yenilemesi kolaylaşır [1-3]. Soğuk uygulanan bölgenin sıcaklığı azalır, uygulanan bölgede bulunan damarlarda büzülme gerçekleşir ve uygulama yapılan bölgeye kan akışı azalır. Hücre metabolizmasında yavaşlama ile uygulama yapılan bölgede lokal olarak oksijen ihtiyacı azalır. Soğuk uygulamak; kaslarda gerginlik, ağrı ve iltihabın azalmasını sağlar, kısa süreli analjezik etki meydana getirir [1-3].

Rahatsızlığın durumuna göre, fizik tedavide bazen sıcak, bazen soğuk uygulama yapılırken bazense sıcak ve soğuk uygulamalar birbiri peşi sıra uygulanabilmektedir. Tedavi edici etkiyi sağlamak için doku sıcaklığının 3 ila 30 dakika boyunca; sıcak uygulamalarda $40-45.5^{\circ}\text{C}$ aralığında, soğuk uygulamalarda ise $15-20^{\circ}\text{C}$ aralığında tutulması gerekmektedir[1-2]. Yüzeysel ısı uygulamalarında; sıcak-soğuk su paketleri, su ve parafin banyoları, nemli hava uygulamaları ve elektrikli ısıtıcılar kullanılabilir[1].

Isıl fizik tedavi uygulamalarında kullanılan geleneksel yöntemlerin; ısının lokal olarak tam istenilen bölgeye uygulanamaması, uygulanacak süre içerisinde doku sıcaklığının tedavi edici sıcaklık aralığından sapması, sıcak ve soğuk sınırları üretmek için büyükçe sistemler gerekmesi, uygulamanın hasta ve fizik tedavi personeline getirdiği zorluklar ve ısıtılan ya da soğutulan dokunun sıcaklığının izlenememesi gibi dezavantajları bulunmaktadır.

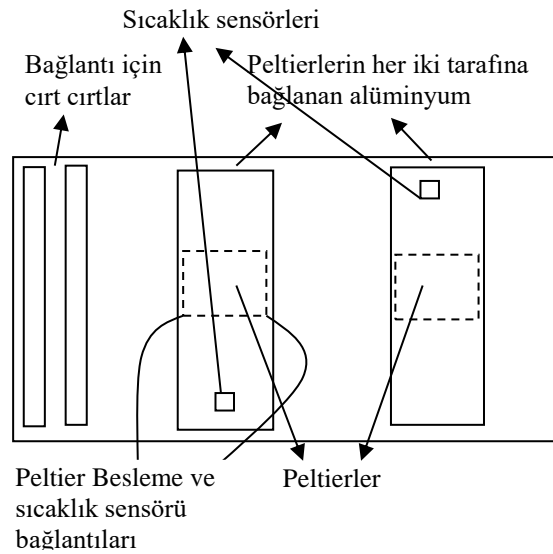
Termoelektrik bir ısı pompası olarak görev yapan peltierler, küçük ölçekli ve hızlı ısıtma-soğutma gereken durumlarda sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Peltierler; elektronik cihazların çeşitli kısımlarının soğutulmasından, mobil cihazların soğutulmasına, uzay araştırmalarından, restoranlarda ve sanayideki endüstriyel amaçlı soğutma işlerine kadar pek çok alanda kullanılmışlardır[4]. Son yıllarda peltierlerin sağlık alanındaki birkaç uygulamasına rastlanmaya başlanmıştır. Dokuların dondurulması[5] ve kan taşıma amaçlı soğutucularda termoelektrik modüller kullanılmıştır[6]. Kafa travmalarında beynin lokal olarak soğutulmasını sağlayan peltierli sistemler önerilmiştir.[7-9]. Literatürde termoelektrik modüllerin fizik tedavi uygulamalarında kullanımı için geliştirilmiş sadece bir sisteme rastlanmıştır[10]. Tuna ve ark. 2014 tarafından testleri gerçekleştirilen sistem, fizik tedavi için gerekenden çok daha düşük sıcaklıklara (-4°C) inebilmesine karşın, peltierin ısınan yüzeyinin soğutulması için kullanılan su pompalı sistemden dolayı klinikteki kullanımı zordur. Ayrıca lokal ısıtma soğutmaya izin vermeyip, sarılan organın tamamını ısıtıp soğutan kaflar ile uygulanabilmektedir.

Bu çalışmada; klinikteki fizik tedavi uygulamalarında kullanılacak, dokunun sıcaklığını sensörler ile anlık olarak ölçümleyen, kaf içerisine dilimler şeklinde yerleştirilmiş peltierler kullanılarak istenilen süre boyunca, dokunun istenen bölgesinin sıcaklığının tedavi edici sıcaklık aralığında dar bir bantta tutulmasını sağlayan, bilgisayar tabanlı bir kontrol sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemin klinik uygulamaları için kullanıcı dostu grafik kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır. Son olarak, geleneksel ısı uygulama yöntemleri ve geliştirilen sistem ile yapılan ısı uygulamalar, deneylerle karşılaştırılmıştır.

II. MATERYAL VE METOT

Çalışmamızda hem sıcak hem de soğuk uygulamanın aynı cihazla yapılabilmesini sağlamak üzere termoelektrik bir ısı pompası olan peltier kullanılmıştır. Peltierler üzerinde bir yönde akım geçirilince bir yüzeyi ısıtırken diğer yüzeyi soğuyan elemanlardır. Üzerinden geçirilen akımın yönü değiştirildiğinde ise ısınan ve soğuyan yüzeyleri yer değiştirmektedir.

Fizik tedavide, ısı uygulamaların çoğunlukla, kol, bacak, omuz, sırt gibi bölgelere yapılması gerektiğinden Şekil-1’de gösterilen yapıda, 20x30 cm boyutlarında bir ısı değiştirici kaf tasarlanmıştır. Kaf, ısıl iletkenliği 0.05 W/mK gibi çok düşük olan polyesterden imal edilmiş olup, dokuya uygulanan ısının havaya yayılmasının önlenmesi amaçlanmıştır. Karşılıklı yüzeylerine cırt cırtlar monte edilerek, sıkı bir şekilde uygulama bölgesine tutturulabilmesi sağlanmıştır. Bazı uygulamalarda dokuya çepeçevre ısı uygulamak yerine sadece bir bölgeye uygulama yapmak gerekebileceğinden; kaf iki parçaya ayrılıp, iki peltier yerleştirilmiş böylece istenen peltierden ısı uygulanabilmesi sağlanmıştır. Isı aktarım yüzeyinin artırılması için 4x4 cm boyutlarındaki termoelektrik modüllerin her iki yüzeyine, ısıl iletkenliği 205 W/mK olan 5x20 cm boyutlarındaki alüminyum plakalar ısıl iletken jel vasıtası ile monte edilmiştir. İki peltierden dokulara uygulanan sıcaklığın takibi için birer adet termistör tabanlı sıcaklık sensörü (10K3A1B), Şekil 1’de gösterildiği gibi ısı değiştirici kafın hastaya temas edecek yüzeyine monte edilmiştir.



Şekil 1. Geliştirilen ısı değiştirici kafın şematik gösterimi

A. PELTİER SEÇİMİ

Kullanılacak peltierin, hangi voltaj ve akım değerlerinde çalışması gerektiğini tespit edebilmek için insan vücudunu, ısı üreten ve depolayan bir sistem olarak alınıp, ilgili parametrelerin buna göre tespit edilmesi gereklidir. İnsan derisinin ısı iletkenliği ortalama 0.207 W/m°C gibi düşük bir değere sahiptir. 70 kg'lık bir insanın, orta dereceli bir egzersiz sırasında kaslarında 208 kcal/saat'lik ısı enerjisi ortaya çıkar[12]. Eğer bu ısı sadece konveksiyon yolu ile vücuttan atılmaya çalışılsa, kısa sürede vücut sıcaklığı canlılığın kaynağı olan proteinlerin bozulacağı sıcaklığa ulaşır ölüme yol açardı. İnsan vücudundaki termoregülasyonun parçalarından olan terleme, solunum, titreme ve kan yolu ile deri yüzeyine taşınma gibi mekanizmalarla vücut sıcaklığı dar bir aralıkta sabit tutulur[12].

Soğutma yapılacağı sırada, ısı değiştirici kafın yüzey alanı kadarlık bir doku parçasında depo edilmiş ısı enerjisini uzaklaştırıp, sıcaklığı soğuk tedavide uygulanabilecek en düşük sıcaklığa (15°C) düşürmenin yanında diğer vücut kısımlarında oluşturulup kan vasıtası ile bu bölgeye taşınan ısının da uzaklaştırılması gerekir. Yüzeyden uygulanan ısının derinin (L) 2 cm altına işleyebildiği, derinin ısı iletkenliğinin (λ) 0.37 W/m°C olduğu, elde edilmek istenen maksimum sıcaklık farkının (ΔT) 20 °C olduğu ve ısı değiştirici yüzey alanı (A) dikkate alınırsa vücudun ısı aktarabilme gücü;

$$Q = A \times \lambda \times \Delta T / L \quad (1)$$

eşitliği ile 40 W olarak bulunur.

Peltier ısıtma sırasında ise en kötü ihtimalle temas ettiği hacimdeki doku ısısını mevcut sıcaklığından tedavi edici sıcaklığın en üst sınırına çıkarması gerekebilir. 37°C lik, 600 ml (Çevre: 15 cm, Uzunluk: 20 cm, Derinlik: 2 cm)'lik dokunun 45°C'ye 5 dakikada çıkarılması için gerekli güç;

$$Q = m \times c \times \Delta T \quad (2)$$

eşitliği ile 55.52 Watt olarak hesaplanabilir. Termoelektrik modüllerin verimlerinin %40-%70 civarında değiştiği dikkate alınarak, bu çalışma için; sıcak ve soğuk uygulamaların her ikisi içinde gerekli gücü rahatlıkla sağlayabilecek, 4x4 boyutlarında iki adet 60 Watt'lık peltier kullanılmıştır. Birkaç denemeden sonra; soğuk ve sıcak uygulamanın her ikisi içinde termoelektrik modüllerin 10 Volt, 2,2 Amperle çalıştırılmasının yeterli olduğu görülmüştür.

B. VÜCUDUN ÜRETTİĞİ ISININ UZAKLAŞTIRILMASI

A Havanın ısı iletim katsayısı 0.025 W/(mK) civarındadır. Özellikle soğutma sırasında termoelektrik modüllerin sıcak tarafında ortaya çıkan ısının hava yolu ile uzaklaştırılmaya çalışılması durumunda peltier sıcaklığı hızla yükselerek soğuk tarafın da ısınmasına yol açmaktadır. Suyun ısı iletkenliği 0.58 W/(mK), ısı kapasitesi ise 4.182 kJ/(kg K) civarındadır. Fizik tedavi uygulamalarında en fazla birkaç kilogramlık dokunun sıcaklığının 20°C civarında değiştirileceği dikkate alınarak, termoelektrik modüllerin hastaya temas etmeyen yüzeyleri üzerine ısı dayanıklılığı yüksek poşetler içerisine, 16 Co, 250 ml'lik musluk suyu konulmasının yeterli olduğu birkaç denemeden sonra tespit edilmiştir.

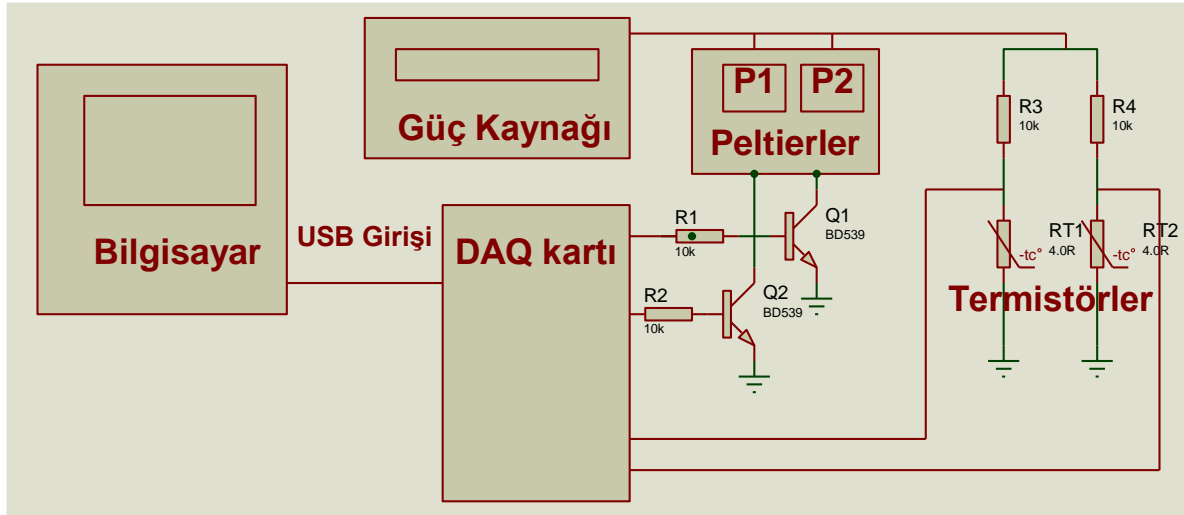
C. SICAKLIK SENSÖRÜ SEÇİMİ

Bu çalışma için 15oC-50oC derece aralığında oldukça lineer bir yanıt üreten ve cevap süresi 1 saniyeden az olan NTC tabanlı 10K3A1B sıcaklık sensörü tercih edilmiştir. Sensörün 2.4 mm gibi çok küçük bir çapa sahip olması da, ısı değiştirme yüzeyi ile dokunun temasını az etkileyeceği düşünülerek, bir başka tercih sebebi olmuştur.

D. SICAKLIK KONTROL YÖNTEMİ

Kontrol teorisinde; Açık – Kapalı (On – Off), Oransal (Proportional), Oransal + İntegral Kontrol (PI), Oransal + Türevsel Kontrol (PD), Oransal + İntegral + Türevsel (PID) gibi temel kontrol yöntemleri bulunmaktadır[13]. Dokuların ısı iletkenliğinin düşük olması sebebi ile sıcaklığın çok çabuk değişmeyeceği ve tedavi edici sıcaklık aralığının oldukça geniş (soğuk için; 15-20°C, sıcak için 40-45.5°C) olması sebebi ile, ısı değiştirme elemanın belirlenen bir referans değeri geçmesi durumunda açılıp kapatılması mantığı ile çalışan, aç-kapa kontrolün yeterli olacağına karara verilmiştir.

Fizik tedavi amacı ile dokulara uygulanan sıcaklığı belli bir aralıkta sabit tutacak kapalı döngü kontrol sistemi şeması Şekil-2’de görülmektedir. Sistem genel olarak, peltierler ve doku ara yüzeyindeki sıcaklığın algılanması, bunun veri toplama (Data Acquisition) kartı ile bilgisayara aktarılması, termoelektrik modüllerin, klinisyen tarafından belirlenecek sıcaklık değerini sağlamak üzere DAQ kartı üzerinden çalıştırılıp durdurulması mantığına göre çalışmaktadır.



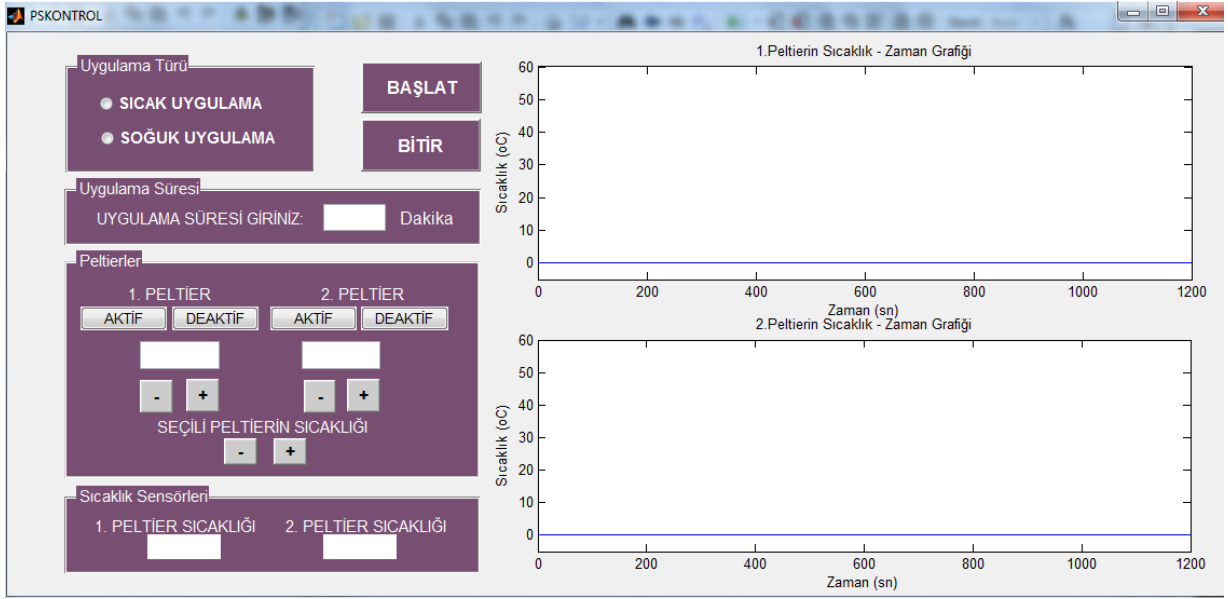
Şekil 2. Geliştirilen sistemin blok diyagramı

E. GELİŞTİRİLEN YAZILIM

Sistemin yazılımı MATLAB yazılım geliştirme ortamında gerçekleştirilmiştir. GUI geliştirme ve veri toplama (Data Acquisition) araç kutularından faydalanılmıştır. Geliştirilen yazılım iki ana kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım grafik kullanıcı ara yüzü, diğer kısım termistörlerden alınacak sıcaklık ölçümlerine bağlı olarak termoelektrik modüllerin sürülmesini sağlayan aç-kapa kontrol kısmıdır.

Geliştirilen grafik kullanıcı arayüzü Şekil-3'te görülmektedir. Klinisyen, kullanıcı ara yüzünden sıcak veya soğuk uygulamadan hangisini uygulayacağını, bir tıklamayla, kolayca belirleyebilmektedir. Peltierler yazılımla ayrı ayrı açılıp kapatılabilmekte, böylece klinisyenlere sadece aktif olan peltierin bulunduğu tarafa bölgesel ısı uygulama yapılabilme olanağı sunulmaktadır. Klinisyen, uygulamanın türüne göre ısı uygulama yapılacak organa ne kadarlık bir sıcaklık uygulanması gerektiğini yazarak ya da butonlarla birer derecelik aralıklarla değiştirerek seçtikten sonra, uygulama süresini yazarak gireceği bir pencere ile istediği sürece tedavinin uygulanmasını, bu süre dolunca sistemin otomatik olarak durmasını sağlamayabilmektedir. İki peltierin sıcaklıkları anlık olarak ekrandaki 2 pencerede gösterilirken, tedavi süresince sıcaklık değişimleri de 2 grafikten takip edilebilmektedir.

Termoelektrik modüllerin sürülmesini sağlayan aç-kapa kontrol kısmında; öncelikle, peltierlerden gelen sıcaklık verisinin okunması gerçekleştirilmektedir. Bunun için veri toplama kartının ilk 2 analog girişi, sürekli olarak saniyede 1 kez sıcaklık ölçümü yapmak üzere okunacak şekilde programlanmıştır. Okunan analog voltaj değeri, daha önce belirlenmiş olan voltaj-sıcaklık dönüşümü eşitliğinden geçirilerek sıcaklık belirlenmektedir. Belirlenen sıcaklık, klinisyenin grafik kullanıcı arayüzünden girdiği uygulanacak tedavi sıcaklığının, sıcak uygulama için; altında ise; veri toplama kartının peltierleri sürececek olan çıkışları aktif, üstünde ise pasif yapılmaktadır. Soğuk uygulama için ise belirlenen tedavi sıcaklığının altında ise pasif, üstünde ise aktif yapılmaktadır. Böylece uygulanan ısı, istenen sıcaklık değerinin çevresinde kalmamızı sağlayacak şekilde kontrol edilmiş olmaktadır.



Şekil 3. Geliştirilen grafik kullanıcı arayüzü

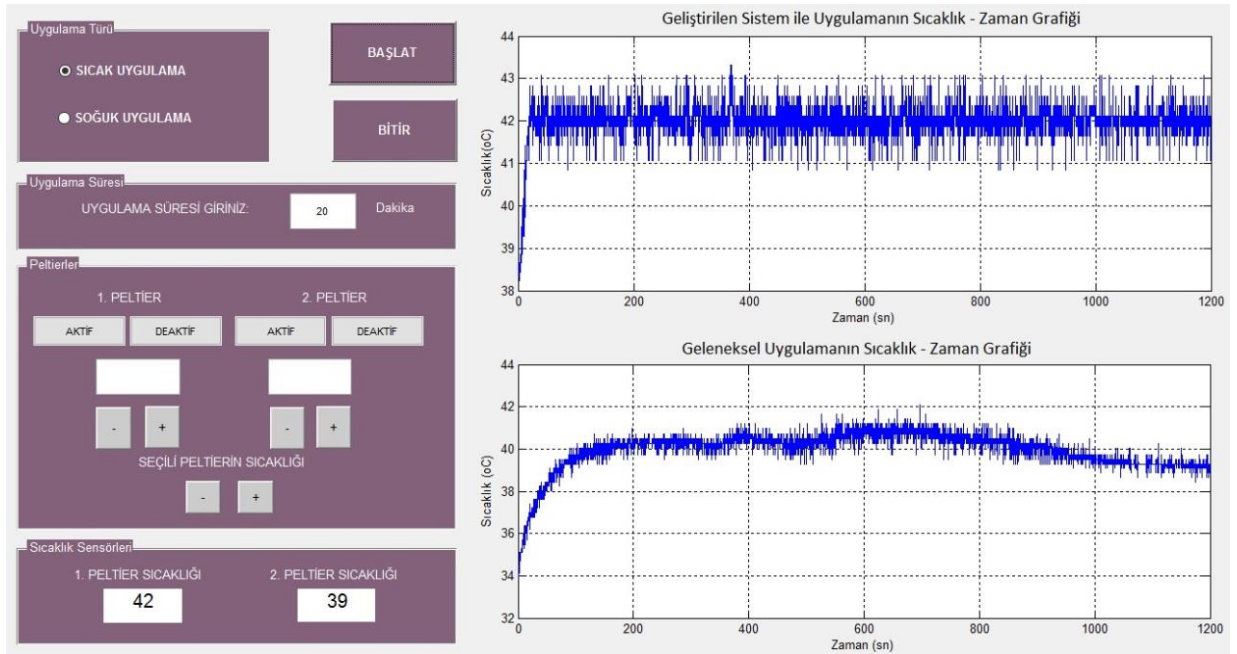
III. BULGULAR

Sistemin klinik uygulaması için etik kurul izni gerektiğinden hasta grubu üzerinde denemesi daha sonraki bir çalışmaya bırakılmıştır. Sistemin belirlenen özelliklere uygun çalışıp çalışmadığının testi için öncelikle 2 litre ve sıcaklığı yaklaşık 37°C olan bir su torbasının sıcaklığını değiştirip değiştirmediği, sıcaklıkta tehlike yaratabilecek ani değişimler olup olmadığı gözlenmiştir. Birkaç deneme sonunda, kullanıcı arayüzünden girilen sıcaklık değerinin 0,3°C altında ve üstünde küçük

dalgalanmalar olacak şekilde sıcaklığın sabit tutulabildiği görülmüş ve sistemin kendi üzerimizde denenmesinin uygun olacağına karar verilmiştir. Ayrıca bir kişi, deneyler sırasında herhangi bir aksaklık olup denegin olumsuz etkilenmemesi için, gerektiğinde enerjiyi kesmek üzere, güç kaynağının başında bekletilmiştir.

Geliştirilen sistemle yapılan sıcaklık kontrolünün, fizik tedavide halen kullanılan geleneksel yöntemlerle (sıcak ve soğuk torbalar) karşılaştırılması için bir deney düzeneği hazırlanmıştır. Yazılımda bu uygulamaların yapılması için küçük değişiklikler yapılmış, iki uygulamanın sonuçlarının (Şekil 4 ve 5) aynı grafik kullanıcı ara yüzünde birlikte gözlenmesi sağlanmıştır.

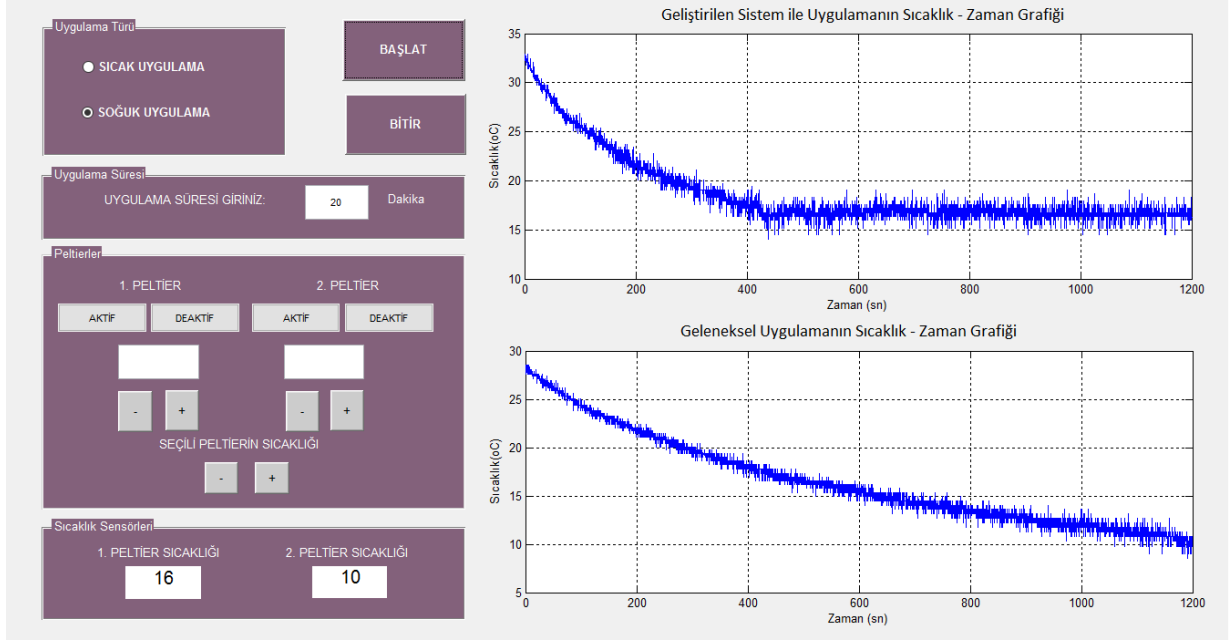
Geleneksel yöntemle sıcak uygulama sırasında dokudaki sıcaklık değişimlerinin izlenebilmesi için 65-70°C sıcaklıkta su torbaları havlu ile sarılıp denegin önkoluna uygulanmıştır. Bu uygulama sırasında geliştirilen sistemde kullanılan sıcaklık sensörü yerinden çıkarılarak havlu ile kol arasına yerleştirilmiş, 20 dakikalık bir uygulama için koldaki sıcaklık değişimi, (Şekil 4 alttaki pencere) takip edilmiştir. Geliştirilen sistemle yapılan sıcak uygulama için, sabit tutulmaya çalışılacak sıcaklık değeri olarak; literatürde sıcak uygulamalarda kullanıldığı belirtilen 40-45°C'nin ortalarındaki, 42°C seçilmiştir. Geleneksel uygulamadaki gibi 20 dakikalık bir uygulama süresi, ilgili pencereye yazılarak, belirlenerek bir deneme yapılmıştır. Bu denemenin sonuçları da Şekil 4'te üstteki pencerede gösterilmiştir.



Şekil 4. Sıcak tedavi uygulamasının geleneksel yöntemle karşılaştırılması

Geliştirilen sistem ve geleneksel yöntem ile yapılan sıcak tedavi uygulamasının karşılaştırılması, sıcaklık zaman grafikleri üzerinden yapılmıştır. Geleneksel uygulamada; uygulamanın 35°C başladığı ve tedavi edici sıcaklık aralığının (40-45°C) alt sınırına, 100 saniye civarında bir sürede ulaşıldığı görülmektedir. 900. saniyeden sonra ise sıcaklığın, tedavi edici sıcaklık değerinin altına düşmeye başladığı görülmektedir. Geliştirilen sistem ile yapılan sıcak tedavi uygulamasında, uygulama 38°C civarında başlamış, 4-5 saniyede tedavi edici sıcaklık değerinin alt sınırına, 20-25 saniyede ise sabit tutulmak üzere ayarlanan sıcaklık değeri olan 42°C ye ulaşılmıştır. Sıcaklık, tedavi süresi boyunca standart sapması $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ olacak şekilde 42°C (en düşük 40.8°C, en yüksek 43.4°C) civarında tutulabilmektedir.

Daha sonra geliştirilen sistem ile geleneksel soğuk tedavi uygulamasının karşılaştırılması yapılmıştır. Bu amaçla geleneksel yöntemde genellikle uygulandığı üzere buz ile doldurulmuş torba, etrafı havlu ile sarılarak sağ ön kol üzerine uygulanmıştır. Bu uygulama sırasında geliştirilen sistemde kullanılan sıcaklık sensörü yerinden çıkarılarak havlu ile kol arasına yerleştirilmiş, 20 dakikalık bir uygulama için koldaki sıcaklık değişimi Şekil 5'te alttaki pencerede görüldüğü şekilde takip edilmiştir. Geliştirilen sistemle soğuk tedavi uygulaması için literatürde soğuk uygulamalar için kullanıldığı belirtilen 15-20°C'nin ortalarındaki 17°C seçilmiştir. Geleneksel uygulamadaki gibi 20 dakikalık bir uygulama süresi seçilerek bir deneme yapılmıştır. Bu denemenin sonuçları da Şekil 5'te üstteki pencerede görülmektedir.



Şekil 5. Soğuk tedavi uygulamasının geleneksel yöntemle karşılaştırılması

Geleneksel uygulamada; uygulamanın 27°C başladığı ve tedavi edici sıcaklık aralığının (15-20°C) üst sınırına, 300 saniye civarında ulaşıldığı görülmektedir. 600. saniyeden sonra ise sıcaklığın tedavi edici sıcaklık aralığından çıkıp, bu aralığın alt sınırının altına düşmeye başladığı görülmektedir. 20 dakika sonunda sıcaklık 10°C'nin bile altına düşmüştür. Geliştirilen sistem ile yapılan soğuk tedavi uygulamasında, uygulama 33°C civarında başlamış, 250 saniye civarındaki bir sürede tedavi edici sıcaklık değerinin üst sınırına ulaşmıştır. 400. saniyeden sonra tedavi süresi boyunca sıcaklık, standart sapması 0,5°C olmak üzere 17°C (en düşük 14,7°C, en yüksek 18,2°C) civarında tutulabilmektedir.

IV. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Geleneksel uygulama ile kıyaslandığında geliştirilen sistemin, sıcaklığı daha hızlı bir şekilde tedavi edici sıcaklık aralığına getirip, kullanıcı arayüzünden girilen sıcaklık değeri civarında tutabildiği görülmüştür. Kontrol yöntemi olarak aç kapa yöntemi seçildiğinden, sıcaklıkta birkaç derecelik değişimler olduğu görülmüştür. Ancak literatürde sıcaklığın sabit tutulması istenen aralık değerleri oldukça geniş olduğundan başkaca kontrol yöntemi kullanılmasına gerek duyulmamıştır.

Bundan sonraki aşamada, sistemin klinikte denenmesi ile ilgili çalışmalar yapılacaktır. Klinisyenlerin isteğine göre; bundan sonraki çalışmalarda, sıcaklığın daha çabuk tedavi edici bölgeye ulaştırılması veya daha dar bir aralıkta tutulmasına dönük kontrol sistemlerinin kullanılmasına yönelik çalışmalar yapılabilir. Sistemin bilgisayar tabanlı olması, diğer kontrol yöntemlerinin sadece yazılımda yapılacak değişiklikler ile kolayca uygulanmasına imkan vermesi sebebi ile başka uygulamalar içinde kullanılabilmesine olanak sağlayabilecektir.

V. KAYNAKLAR

- [1] Aksoy, C., Fizik Tedavi Vasıtaları Soğuk Sıcak Uygulamalar. Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon, Nobel Tıp Kitabevleri Ltd. Şti., İstanbul, 2000.
- [2] Kayıhan H., Dolunay N., Fizyoterapi'de Isı, Işık, Su.", Hacettepe Üniversitesi: Fizik Tedavi Rehabilitasyon Yüksekokulu Yayınları, Ankara, 1992.
- [3] KAZAN E.E., Soğuk Uygulamalar ve Hemşirelik Bakımı", Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Hemşirelik Dergisi, 73-82, 2011.
- [4] Riffat, S.B. and Ma, X., "Thermoelectrics: a review of present and potential applications", Applied Thermal Engineering 23:913-935, 2003.
- [5] Işık, H., Avunduk, M.C, ve Ünal, Y., "Soğutucu özelliği kazandırılmış doku dondurma amaçlı bir patoloji cihazı tasarımı ve gerçekleştirilmesi", e-Journal of New World Sciences Academy, 5(2):215-225, 2010.
- [6] Çiçek, O., Demirel, H. ve Tan, S.O., "Termoelektrik modüllü kan nakil kabı tasarımı", Technology, 14(4): 115-121, 2011.
- [7] Ahiska, R., Yavuz, A. H., Kaymaz, M., & Güler, İ. "Control of a thermoelectric brain cooler by adaptive neuro-fuzzy inference system." Instrumentation Science and Technology, 36(6), 636-655, 2008.
- [8] Fujioka, H., Fujii, M., Koizumi, H., Imoto, H., Nomura, S., Saito, T., Yamakawa, T., and Suzuki, M., "An implantable, focal brain cooling device suppresses nociceptive pain in rats", Neuroscience Research, 2010.
- [9] Morizane, K., Ogata, T., Morino, T., Horiuchi, H., Yamaoka, G., Hino, M., and Miura, H., "A novel thermoelectric cooling device using Peltier modules for inducing local hypothermia of the spinal cord: The effect of local electrically controlled cooling for the treatment of spinal cord injuries in conscious rats", Neuroscience Research, 72(3):279-282, 2012.
- [10] Yavuz, Celil, Sezayi Yılmaz, and Metin Kaya. "The design of computer controlled cold and hot therapy device with thermoelectric module." Journal of Medical Imaging and Health Informatics 3.2: 221-226, 2013.

- [11] Tuna R. Ve ark. "Bilgisayar Kontrollü Termoelektrik Modüllü Soğuk ve Sıcak Terapi Cihazında Örnek Bir Deneye Ait Sonuçların NeuNet Programı ile Analizi", ELECO 2014, Bursa
- [12] Pehlivan F. "Biyofizik", Hacettepe Taş Kitapçılık Limited Şti., Ankara, 2009.
- [13] Ogata K. "Modern Control Engineering", 4th Edition, Printice Hall.Inc. ABD, 2002