

# SOĞUTUCU BİR GİYSİ SİSTEMİ TASARIMI VE TEST YÖNTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

Özlem KAYACAN, Arif KURBAK  
Dokuz Eylül Üni. Müh. Fak. Tekstil Müh.Bölümü

## ÖZET

Çok sıcak ortamlarda bulunma-çalışma, çeşitli biyolojik rahatsızlıklar gibi durumlar sonucunda insan vücudunun sıcaklığı yükselmektedir. Bu sıcaklığı düşürmek amacıyla özel giysiler kullanılmaktadır. Bu giysilere mikroiklim soğutmalı giysiler adı verilmektedir. Su, hava ve faz değiştiren materyaller kullanarak soğutma yapan sistemler mevcuttur. Askeri alanlarda, uzay giysilerinde ve endüstriyel alanda kullanılan koruyucu giysilerin içinde, tıp alanında çeşitli hastalıkların semptomlarının hafifletilmesinde ve doktorların cerrahi giysilerinin içinde bu sistemler kullanılmaktadır.

Mikroiklim soğutmalı giysi çeşitlerinden biri olan su soğutmalı sistemler yurt dışında yaygın olarak araştırılmaktadır. Ancak ülkemizde bu sistemlerle ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada da yurt dışında oluşturulan diğer soğutucu giysilerden farklı yapıda tıbbi amaçlı su soğutmalı bir giysi tasarlanmış ve bu giysinin soğutma etkisini test etmek için bir test yöntemi geliştirilmiştir. Yapılan deneylerde su giriş sıcaklığının ve suyun debisinin değişimlerinin soğutmaya etkisi ve mankenin vücut sıcaklığı değişimleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Su soğutmalı giysi, termal manken, ısı stresi

## DESIGN OF A COOLING GARMENT AND DEVELOPMENT OF THE TEST METHOD

### ABSTRACT

The core temperatures of individuals increase when they are working in hot conditions, when they have special illness etc. In order to decrease these temperatures special garments are needed. These garments are called microclimate cooling garments and can be classified as water cooling, air cooling and phase changing material cooling systems. They are used in military clothes, space suits, protective clothes, in surgical clothes and in medical field to relieve the symptoms of special diseases.

Liquid cooling garments are one of the most popular topics for investigation as cooling systems abroad. But there is no research about these systems in our country. In this work, a cooling garment, which is different from the other researches, is designed. In order to investigate the cooling effects of this garment, a test method is developed. The effects of water inlet temperature and flow rate on cooling effect and the differences of manikin temperature are investigated.

Keywords: Liquid cooling garments, thermal manikin, heat stress

## 1. GİRİŞ

Normal koşullar altında insan vücudunun iç sıcaklığı 37°C, deri sıcaklığı ise 33-34°C civarındadır. Ancak ortam sıcaklığı, nem, güneş, yapılan egzersizler veya kontrol edilemeyen bir enfeksiyon sonucunda iç vücut sıcaklığı 40-42°C'ye kadar artabilir. Bu duruma "hipertermi" adı verilmektedir. Kısaca hipertermi insan vücudunda meydana gelen ısı stresinin aşırı derecede artmasına bağlı olarak oluşmaktadır. Isı stresi arttıkça kişinin vücut sıcaklığı, terlemesi ve kalp atış hızı artmaktadır. 40°C'yi aşan vücut iç sıcaklıklarında insan için hayati tehlike oluşmaktadır. Bu derece yüksek sıcaklık değerleri ile birkaç günlük yaşam dahi iç organlarda geri dönüşü olmayan hasarlara ve sonuç olarak da ölümlere yol açabilmektedir.

Özellikle sıcak ortamda çalışan, hareket halinde olan kişiler hipertermi oluşumunu engellemek için çeşitli önlemler almaktadırlar. Buldukları ortama göre giyinerek veya değişik soğutma yöntemleri kullanarak vücut sıcaklıklarını düşürmeye çalışmaktadırlar. Bu yöntemlerden biri de kişilerin etraflarında uygun iklimlendirmeyi sağlayacak özel giysilerin kullanılmasıdır. Bu giysilere "mikroiklim giysileri" adı verilmektedir.

Mikroiklim giysileri soğutucu giysiler olarak da adlandırılmaktadır. Bu giysiler çok sıcak ortamda çalışan kişilerde, vücut sıcaklığının artmasına bağlı olarak hastalıkları ilerleme gösteren kişilerde, çok sıcak ortamda antreman yapan veya yarışan sporcularda, uzay giysilerinin içinde, tıp alanında MS (multipl skleroz), ektodermal displazi gibi rahatsızlıklarda kullanılmaktadır. Faz değiştiren materyallerle (buz veya çeşitli kimyasal maddelerle), hava veya su ile soğutma yapabilen giysi tipleri mevcuttur.

Yurtdışında soğutucu giysilerle ilgili birçok ürün geliştirilmiş ve bu ürünler hakkında birçok deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Ancak bu giysiler ile ilgili yurtiçinde yapılmış herhangi bir çalışma veya üretilmiş bir ürün bulunamamıştır. Bu yüzden bu araştırma kapsamında tıp alanında kullanılacak prototip bir su soğutmalı giysi ve bu giysinin performansının test edildiği bir ölçüm sistemi tasarlanmıştır. Su soğutmalı giysinin soğutma verimliliği incelenmiştir.

## 2. SU SOĞUTMALI GİYSİLER (SSG)

Su soğutmalı giysiler (SSG), insanların vücudunu soğutmak amacıyla vücudun etrafında soğuk sıvı dolaştırılmasını esas alan giysilerdir. Bu giysilerde sıvı olarak su kullanılmaktadır. Bunun sebebi suyun hem zararsız ve ucuz bir madde olması hem de gizli ısısının yüksek olmasıdır.

Bu giysiler bir soğutma tankından ve giysinin kendisinden oluşmaktadır. Soğutma tankı, içinde bulunan sıvıyı soğutmak ve giysiye pompalamak amacıyla kullanılmaktadır. Suyu soğutmak için tankın içine buz veya kuru buz konmaktadır, ayrıca sıvıyı otomatik olarak soğutan sistemler de mevcuttur.

Soğutmalı giysinin içine belirli çaplarda ve belirli uzunlukta hortumlar yerleştirilmektedir. Soğuk sıvı hortumların içinden geçerek insan vücudu etrafında dolaşmaktadır. Bu sayede vücuttaki fazla ısı uzaklaştırılmaktadır. Sıvı, daha sonra tekrar su tankına geri dönmektedir. Bazı sıvı soğutmalı giysilerde soğutma tankından giysiye iletilen suyun sıcaklığı (su giriş sıcaklığı) değiştirilebilmekte, aynı zamanda bu suyun akış hızı da (suyun debisi) ayarlanabilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda suyun akış hızı ve suyun giysiye giriş ve çıkış sıcaklıkları dikkate alınarak insan vücudunun sıcaklık değişimleri incelenmektedir. Sıcaklık sensörleri vasıtası ile suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülmektedir. Bu tip giysilerde genel olarak ısı değişimi söz konusudur, Burton ve Collier (1964) bu prosese genellikle konvektif soğutmanın etki ettiğini söylerken, Chambers (1970), Walligora ve Michel (1968) konduktif soğutmanın etki ettiğini belirtmektedir (Nunneley, 1970).

SSG'nin soğutma verimliliği, hortum uzunluğundan, suyun giriş sıcaklığından, termal izolasyondan, soğutucu giysinin vücutta kapladığı alandan ve deriye yakınlığından etkilenmektedir. Uzun süreli soğutma sağlamaktadır. Fakat giysiyi giyen kişinin hareketini bir miktar kısıtlamaktadır. Ayrıca pahalı sistemlerdir.

SSG hakkında yapılan çalışmalar oldukça geniş bir alanı kapsamaktadır. Uzay alanında, askeri alanda, endüstriyel alanda ve tıbbi alanda bu giysiler kullanılarak performanslarının değerlendirilmesi

konusunda birçok çalışma mevcuttur. Yapılan araştırmaların birçoğu fizyolojik çalışmalardır. Geri kalan araştırmalar ise termal mankenler ile ilgili yapılan araştırmalar ve modelleme çalışmalarıdır.

Bu tip giysilerde vücudun belirli bir bölgesi (eller, ayaklar, baş ve vücut) veya tamamı soğutulmaktadır. Su soğutma, insanları çok yüksek metabolik hızlarda bile aşırı derecede soğutabilen oldukça güçlü bir mekanizmadır.

SSG kavramı ilk olarak 1958'de Billingham tarafından ortaya atılmıştır ve 1962'de İngiliz Kraliyet Hava Kuvvetleri tarafından uçağın kokpitinde bulunan pilotları güneş ışığına karşı korumak amacıyla ilk prototip üretilmiştir. Ancak daha sonra bu tip giysilerin başka amaçlarla da kullanılabilmesinin farkına varılmıştır (Nunneley, 1970).

Otomatik kontrolün geliştirilmesiyle değişken su giriş sıcaklığı ve sabit akış hızlarında su soğutmalı sistemler kullanılmıştır. Kontrol, metabolik ısı üretimi ile ilgili faktörlerden (deri sıcaklığı, terleme hızı, deri yüzeyindeki kan akışı gibi) birine bağlı olarak gerçekleştirilmektedir.

Günümüzde SSG'ler çeşitli firmalar tarafından üretilmektedir. Mesela Cool Shirt adlı soğutma sistemi ve FAST Firmasının soğutmalı giysileri ticari ürünler olarak satılmaktadır. "Cool Shirt" olarak adlandırılan SSG'lerin değişik tipleri mevcuttur. Bu sistemlerde hem hava ile hem de su ile soğutma yapabilen mikroiklimlendirme giysileri mevcuttur (Şekil 1).



Şekil 1. Cool Shirt (www.coolshirt.net)



Şekil 2. FAST Race Products Firmasına ait iki su soğutmalı giysi(www.fastraceproducts.com)  
a- Yarışçılar için tasarlanan SSG b- doktorlar tarafından kullanılan SSG

### 3. SU SOĞUTMALI GİYSİLER HAKKINDA YAPILAN LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

#### 3.1 Askeri, Uzay ve Endüstriyel Alanlarda Yapılan Çalışmalar

Semeniuk ve ark. (2004), zararlı maddelere karşı koruyucu giysiler (Hazmat) giyen kişilerin ısı stresini fizyolojik olarak incelemişlerdir. Deneyler sırasında bireylere standart çalışma giysisi, Hazmat giysisi ve taşınabilir SSG'li Hazmat giysisi giydirilmiş ve bireyler 35°C'de %50 bağıl nem altında koşu bandında yürüme egzersizi yaparken deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında bireylerin kalp hızı ve rektal sıcaklıkları ölçülmüştür. Standart çalışma giysisi ve SSG'li Hazmat'la elde edilen rektal sıcaklık ve kalp hızı sonuçları birbirine yakın değerlerde ölçülmüştür. Hazmat giysisi ile ölçülen rektal sıcaklıklar ve kalp hızı ise diğer iki giysiye göre daha yüksek çıkmıştır. SSG'li hazmat ve standart çalışma giysisi ile Hazmat giysisi arasında istatistiksel açıdan önemli farklılıklar bulunmuştur. Sonuç olarak Hazmat giysilerinin içine SSG giyildiği zaman, bireylerin ısıya maruz kalma zamanını, kalp hızını ve vücut iç sıcaklığını önemli ölçüde azalttığını, aynı zamanda ısı stresi nedeniyle performansın azalmasını ve yorulmanın oluşmasını termal dengeyi uygun düzeyde muhafaza ederek engellediğini belirtmişlerdir.

Hexamer ve arkadaşları farklı yıllarda (1994, 1996, 1998) SSG'lerin otomatik kontrolü ile ilgili çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. SSG'lerde otomatik kontrol, bireylerin fizyolojik parametrelerinin kontrol edilerek su giriş sıcaklığının değiştirilmesi ile sağlanmaktadır.

Hexamer ve Werner (1994) yaptıkları deneysel çalışmada başı, ayakları ve elleri dışarıda bırakan ve geri kalan bölgeleri soğutan bir SSG kullanmışlardır. Bireyler 35°C'de %45 bağıl nem altında bisiklet çevirme egzersizi yapmışlardır. İki grup deney yapmışlardır. Birinci grupta deneklerin su giriş sıcaklıklarını kendilerinin ayarlamasını istemişlerdir. Ancak bu ayarlamalar sırasında oldukça farklı su giriş sıcaklığı değerleri ve konfor düzeyi elde etmişlerdir. İkinci grup deneyde deri sıcaklığını otomatik kontrol birimi olarak almışlardır ve deri sıcaklığını 32°C ve 34°C olarak iki farklı sıcaklıkta sabit tutmaya çalışmışlardır. Sonuç olarak ortalama su giriş sıcaklıklarının 12°C ile 30°C arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Deri sıcaklığının ayar noktasının belirlenmesinde kalp hızı ve rektal sıcaklıklar ayar noktası olarak alınmıştır. Sonuç olarak deri sıcaklığı kontrolünün sabit ayar noktası olarak alınmasının farklı düzeydeki ısı üretiminde yeterli tepkiyi oluşturduğu görülmüştür. Metabolik hız ve kalp hızı gibi ikinci fizyolojik bir sinyal kullanılarak farklı düzeydeki ayarlamalar yapılabilmektedir.

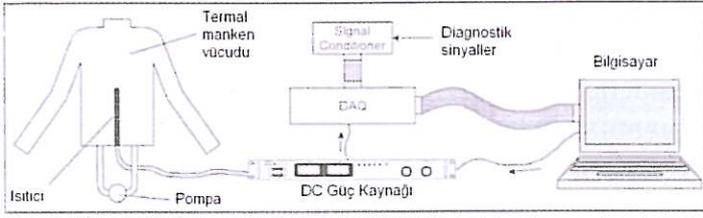
Hexamer ve ark. (1996) SSG'lerin çok döngülü otomatik kontrolünü de incelemişlerdir. Eller, ayaklar ve başı dışarıda bırakan soğutma sistemleri kullanmışlardır. Kollar, bacaklar ve gövde üzerinden fizyolojik parametreler ölçülmüş ve soğutmalı giysi üzerinden de su giriş sıcaklığı ve çıkış sıcaklığı değerleri elde edilmiştir. Bisikletle egzersiz yapan deneklerin bölgesel deri sıcaklıkları kol ve gövde 34°C, bacaklarda 32°C olarak sabit alınmıştır. Her bir bölgenin verilerine göre oluşturulan algoritma, bir bilgisayar tarafından kontrol edilerek su giriş sıcaklığı değerleri otomatik değiştirilmiştir. Sonuç olarak bu sistem yüksek konfor sağlamaktadır. Ancak oldukça pahalı bir sistemdir.

Hexamer ve Werner (1998), bireyler üzerinde hangi kontrol parametresinin SSG'lerin otomatik kontrolünde etkili olacağını araştırmışlardır. Vücut iç sıcaklığı, deri sıcaklığı, kas sıcaklığı, deri yüzeyindeki kan akışı, terleme hızı, kalp hızı ve metabolik hız gibi veriler SSG'lerin kontrolünde kullanılabilir. Terlemenin kontrol birimi olarak kullanıldığı durumda elde edilen sonuçlar ilk bakışta memnun edici değerler vermektedir, ancak denekler soğunun verdiği rahatsızlıklardan şikayet etmişlerdir. Bu yüzden Hexamer ve Werner,

terleme hızının kontrol edilmesinin riskli olabileceğini belirtmiştir. Metabolik hıza bağlı kontrol sistemleri kararlı bir şekilde çalışmaktadır. Ancak bireyin vücut ısısının artması (ateşlenmesi) durumunda bu sistem başarısız olmaktadır. Vücut iç sıcaklığı kontrol parametresi olarak alındığında da bazı problemlerle karşılaşmaktadır. Vücut iç sıcaklığı egzersizlere gecikmeli reaksiyon gösterebilmekte, ayrıca bireyler arasında da formda olmak veya iklime alışmak açısından farklılıklar olabilmektedir. Hexamer ve Werner deri yüzeyindeki kan akışının kontrol birimi olarak kullanılmasını önermişlerdir. Çünkü vücudun termal dengeyi muhafaza etmek için oluşturduğu tepkiler direkt olarak hissedilebilmektedir.

Xu ve ark. (1999), SSG kullanılarak yapılan egzersizler sırasında vücudun farklı bölgelerinin soğutulmasının etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada çok döngülü bir kontrol algoritması kullanmışlardır. Üç çevrimli SSG'de kollar, bacaklar ve gövde soğutulmaktadır. Sonuç olarak tek çevrimli SSG'lere göre çok çevrimli SSG'ler daha etkili sonuçlar vermektedir. Çünkü tek çevrimli giyside vücudun bazı bölgeleri daha fazla soğumaktadır. Ancak çok çevrimli giyside böyle bir durumla karşılaşmamaktadır. Bu çalışmada ayrıca SSG'nin yapılan işe göre optimizasyonu gerçekleştirmiştir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken husus yapılacak işlerdir. Çünkü farklı işler sırasında farklı kaslar çalışmaktadır. Bu sebeple soğutma sırasında giyside kullanılacak hortumlar kasların kullanımına göre yerleştirilmelidir.

Jetté ve ark.(2004), kuru termal manken vücudu kullanarak su soğutmalı giysilerin performansına manken yüzeyinin etkisini araştırmışlardır. Şekil 3'de şematik görünümü verilen mankenin vücudu elektrikli ısıtıcı tarafından su ile ısıtılmaktadır. Isıtılan su, borular ve bir pompa vasıtası ile vücuda dağılmaktadır. Bu borular vücudun en alt kısmından kollara kadar ulaşmaktadır. Bu metot ile manken yüzey ısısının homojenliği sağlanmaktadır. DC güç kaynağı ile suyu ısıtmak için gerekli olan enerji miktarı ve 18 adet sıcaklık sensörüyle belirlenen mankenin yüzey sıcaklığı değerleri veri toplama sistemi vasıtası ile bir bilgisayara aktarılarak kaydedilmektedir.



Şekil 3. Termal mankenin şematik olarak gösterimi

SSG ile yapılan deneylerde sadece gövde soğutulmuştur. Bu amaçla içine küçük çaplı hortumlar dikilen bir yelek kullanılmıştır. Mankenin yüzey sıcaklıkları 38°C, 34°C ve 30°C; ortam sıcaklığı yaklaşık 23°C; soğutma suyunun giriş sıcaklıkları 7°C ve 14°C; su debisi ise 300 ml/dk olarak alınmıştır. Suyun debisi suyun çıktığı bölgede su akış sensörü vasıtasıyla, su giriş ve çıkış sıcaklıkları ise sıcaklık sensörleri vasıtasıyla ölçülmektedir. Yapılan deneyler sırasında elde edilen tüm veriler bilgisayara aktarılarak SSG'nin ısı absorbe etme hızı (watt);

$$\dot{Q} = \dot{m} c_v (T_{\text{çıkış}} - T_{\text{giriş}}) \quad (1)$$

formülü ile hesaplanmıştır. (1) numaralı denklemde kütle debisi  $\dot{m}$  ifade etmektedir ve kg/s olarak ifade edilmektedir.  $c_v$  suyun ısı sığasıdır (4180 J/kg/°C).  $T_{\text{çıkış}}$  ve  $T_{\text{giriş}}$  sıcaklıkları ise °C biriminde suyun çıkış ve giriş sıcaklıklarıdır. Mankenden ve soğutma sisteminden elde edilen veriler kullanılarak efektif bir soğuma hızı bulunmuştur. Sonuç olarak su giriş sıcaklığı azaldıkça ve mankenin yüzey sıcaklığı arttıkça efektif soğuma oranı da artmaktadır. Yani SSG'nin ısı absorbe etme kapasitesi artmaktadır (Jetté ve ark., 2004).

Katsuura ve ark. (1990) sıcak bir ortamda hafif egzersiz yapan bireyler üzerinde baş bölgesinin soğutulmasının etkisini incelemiştir. 40°C sıcaklıkta, %50 bağıl nem altında bireylere bisiklet çevirme egzersizi yaptırılırken su soğutmalı şapka ile soğutma sağlanmıştır. Su giriş sıcaklıkları 10°C ve 15°C ve su akış hızı 1000 ml/dk. olarak ayarlanmıştır. Elde edilen verilerden sıcak ortamlarda hafif egzersiz yapan kişilerde baş soğutmanın ısı stresini azalttığını tespit etmişlerdir.

Dionne ve ark. (2003), zehirli atıkların temizlenmesiyle uğraşan kişilerin kullandıkları koruyucu giysilerin geçirgen olmaması sebebi ile vücutlarındaki ısıyı

ortama transfer edecek buharlaşma mekanizmalarını azalttığını, buna bağlı olarak bireylerde vücut içi sıcaklıklarının arttığını ve bu kişilerin verimliliğinde önemli ölçüde azalmaya sebep olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada farklı yoğunlukta hortum içeren kişisel soğutma sistemlerini kullanarak terleyen bir manken üzerinde soğutma sistemlerinin performansını araştırmışlardır. Deneyler sırasında mankenin terleme oranı, mankenin tüm yüzeyinin ter ile ıslanacağı şekilde ayarlanmıştır. Mankenin deri sıcaklığı 35°C'de sabit tutulmuştur. Deneyler 35°C sıcaklıkta %30 bağıl nem altında gerçekleştirilmiştir. 14,3 m, 24,1 m ve 31,4 m uzunluğundaki hortumların kullanıldığı soğutmalı giysiler testler sırasında kullanılmıştır. Bu soğutucu giysiler iki tip kimyasal-biyolojik giysi altına giyilmiştir ve her iki giysinin içine çelik yelek giydirilmiştir. Deneyde ilk aşama olarak PCS giydirilmeden manken hareketsizken testler gerçekleştirilmiştir. Manken hareketsizken, deri sıcaklığını 35°C'de tutmak için gerekli enerji 80-120 Watt arasındadır. Bu miktardaki enerji buharlaşma sırasındaki ısı transferini ölçmek için kullanılmıştır. Deneyin ikinci aşamasında soğutma yelekleri giydirilmiştir. Yaklaşık 7°C ve 10°C'de, 250 ml/dak ile 760 ml/dak arasında su giysiye pompalanmıştır. Bu sırada mankenin sıcaklığı 35°C'dir. Soğutma sırasında mankenin sıcaklığını 35°C'de tutmak için gerekli enerji girişinden ilk deneyin değerleri çıkarılarak efektif ısı uzaklaştırma hızı bulunmuştur. Kişisel soğutma sisteminin toplam ısı uzaklaştırma hızı suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülerek elde edilmiştir. Sonuç olarak hortum yoğunluğunun giysinin soğutma kapasitesini etkilediğini tespit etmişlerdir. Aynı su akış hızı ve aynı su giriş sıcaklıklarının kullanıldığı giysiler karşılaştırıldığında yüksek yoğunlukta hortum dolaşımı olan giysilerde daha fazla soğutma görülmektedir. Düşük yoğunlukla yüksek yoğunluk arasında %23'lük bir ısı transferi farkı vardır. Bu durum su dolu hortumlarla vücut ısı değişiminin gerçekleşmesi için yüzey alanının maksimize edilmesinin önemini vurgulamaktadır. Diğer yandan yüksek hortum uzunlukları büyük sürtünme kayıplarına ve yüksek pompa gücü ihtiyacına neden olmaktadır.

Speckman ve ark. (1988), kimyasal koruyucu giysiler giyen askerlerdeki aşırı ısıya bağlı oluşan deri yanıklarını azaltmak amacıyla su soğutmalı giysiler, faz değiştirmeli soğutmalı giysiler ve hava soğutmalı giysiler ile hem insanlar hem de termal manken üzerinde kapsamlı çalışmalar yapmışlardır.

Speckman ve arkadaşları, farklı su soğutmalı giysi tipleri kullanarak çeşitli deneyler gerçekleştirmişlerdir. Bu deneylerde su ile soğutulan şapka, yelek, yelek ve şapka birlikte, uzun iç çamaşırı (vücut, kol ve bacakların bütünü) ve kısa iç çamaşırı (vücut, kol ve bacakların üst kısmı), kol-bacak-gövdeyi soğutan iki farklı SSG ve taşınabilir SSG'ler kullanılmıştır. Bu giysilerin üzerine koruyucu giysi ve askeri donanım giydirilmiştir. Bütün deneyler bakır manken üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde şu sonuçları elde etmişlerdir: Su soğutmalı giysilerin vücut üzerinde kapladığı alan arttıkça soğutmanın etkisi artmaktadır. Su giriş sıcaklığı ile deri sıcaklığı arasındaki fark arttıkça, yani su giriş sıcaklığı azaldıkça soğutmanın etkisi de artmaktadır. Su debisi arttıkça suyun soğutma etkisi yine artmaktadır. Taşınabilir SSG'lerde ise pilin ömrü azaldıkça soğutmanın da etkisi azalmaktadır.

Cao ve ark. (2006) SSG'lerin iç yüzeyinde kullanılan kumaşların nem alımı, ıslanabilirlik (su dağılımı ölçümü), termal dayanım, buharlaşma dayanımı özelliklerini test ederek SSG'ler için en uygun iç yüz kumaşını bulmaya çalışmışlardır. Bu amaçla 18 farklı tipte kumaş kullanmışlardır. Bu kumaşlar %80/20 polyester/spandeks örme kumaş, %90/10 pamuk/pamuk kaplı paslanmaz çelik dokuma kumaş, %100 poliamid dokuma kumaş, %100 gümüş kaplı poliamid örme kumaş, %100 pamuklu örme kumaş, %100 polyester kumaş vb. kumaşlar olarak seçilmiştir. Yapılan deneylerden elde edilen ölçümler sonucunda tüm kumaşlar karşılaştırıldığında %80/20 polyester/spandeks örme kumaşların en uygun test sonuçları verdiğini tespit etmişlerdir. Çünkü tüm kumaşlar değerlendirildiğinde bu kumaşın termal özellikleri diğer kumaşlara göre oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Ayrıca üretilen SSG'lerin vücuda tam olarak uyum sağlayabilmesi açısından uzama özellikleri de oldukça iyidir. Bu yüzden araştırmacılar bu kumaşın iç yüz olarak en uygun kumaş olduğu kararına varmışlardır.

### 3.2 Tıp Alanında Yapılan Çalışmalar

Tıp alanında soğutmalı giysiler, multipl skleroz (MS), ektodermal displazi gibi hastalıklarda, hipertermi oluşmuş bireylerde uygulanmaktadır. Ayrıca doktorların ameliyathanelerde giydikleri önlüklerin içinde de kullanılmaktadır.

Hipohidrotik ektodermal displazi (HED) hastalığında ter bezleri anne karnında iken gelişmemektedir. X kromozomuna bağlı kalıtsal bir hastalıktır ve erkeklerde görülmektedir. Etkilenen bebeklerde vücut sıcaklığının kontrolünde sorun vardır ve en hafif enfeksiyon rahatsızlıklarında bile aşırı derecede ateş yükselmesi görülmektedir. Çünkü terleme sırasında ateşin kontrol mekanizması ortadan kalkmaktadır. (Yavuz, 2007). Hasta ateş yükselmesine bağlı olarak havale geçirebilir veya vücut sıcaklığının aşırı derecede artması beyin hasarlarına neden olabilir. Bu yüzden sık sık soğuk su ile duş almak, serin ortamlarda bulunmak ve serinletici spreiler kullanmak gerekmektedir (Adıgüzel, 2007). Ayrıca vücut iç sıcaklığını düşürmek amacıyla mikroiklim soğutmalı giysiler de kullanılmaktadır.

NASA ve HED Vakfı tarafından yapılan çalışmalarda HED hastalığı görülen çocukların dışarıda kullanabilmesi için özel giysiler geliştirilmiştir. Beyaz ceket, pantolon, başlık ve özel bir gözlükten oluşmaktadır. Bu izolasyon giysisi hasta çocukları UV ışınlarından koruyan özel giysilerdir, ancak izolasyon özelliği olduğundan, vücut ısısı dışarı iletilmemekte ve vücut ısısı artmaktadır. Terlemenin de olmaması sebebi ile bu giysilerin içine ek bir soğutma gerekmektedir. Bu soğutma da HED'li çocuklara özel mikro-iklimlendirme giysileri giydirilerek sağlanmaktadır. Şekil 4'de HED'li çocuğa faz değiştiren soğutmalı bir yelek giydirilmiştir (NASA Explores, 2002).



Şekil 4. HED vakası görülen çocuklar için geliştirilen özel giysi (NASA Explores, 2002)

Multipl Skleroz (MS) iki önemli bölümden, beyin ve omurilikten oluşan merkezi sinir sistemine ait bir hastalıktır. (Türkiye Multipl Skleroz Derneği, 2003). Amerikan Multiple Skleroz Derneği (MSAA) tarafından yapılan bir araştırmada MS hastalarının vücutlarındaki sinirlerin ısıya karşı hassas olduğu belirtilmektedir. Araştırmacılar sıcaklıktaki bir artışın beyinden vücuda sinyallerin etkili bir şekilde iletilmesini engellediğine dikkat çekmektedir. Bu yüzden sıcaklık artışının hastaya etkisini azaltmak için soğutmalı giysiler kullanılmaktadır.

Bu tip hastaları soğutma fikri 1950'li yıllarda soğutma banyolarının uygulanmasıyla ortaya çıkmıştır. NASA tarafından uzay alanında su soğutmalı giysilerin kullanılmasından sonra 1992 yıllarında MSAA soğutma giysilerinin MS hastalarındaki klinik özelliklerini incelemeye başlamıştır (Roberts, A., Harper-Bennie, J., 2004). Bu amaçla boyun bağları, yelekler vb. soğutmalı ürünler MS hastalarının vücut sıcaklıklarını düşürmek amacıyla kullanılmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Life Support Systems firmasına ait taşınabilir Mark VII su soğutma ünitesi (tekerlekli sandalyenin arkasına yerleştirilmiş), soğutmalı yelek ve başlık. (Ames Research Center, 1993)

Kraft va Alquist (1996) yaptıkları çalışmada ısıya duyarlı MS hastalarının motor (hareket kaslarına ait) fonksiyonlara aktif soğutmanın etkisi üzerinde çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada Mark I Tıbbi Soğutma Giysisi kullanmışlardır. MS'li bir grup hasta 60 dakika boyunca rahatça bir sandalyede otururken soğutma gerçekleştirilmiştir. Su giriş sıcaklıkları 26,5 °C ve 7° C olarak hastalara uygulanmıştır. Hastanın iç vücut sıcaklığı, kalp hızı ve kan basıncı her 5 dakikada bir ölçülmüştür. Sonuç olarak kontrollü bir mikro-iklimlendirme cihazında 7°C'lik

aktif soğutmanın hastanın motor fonksiyonlarını verimli bir şekilde arttırdığı tespit edilmiştir.

Ku ve ark. (1999), Mark VII soğutma sistemini kullanarak MS hastalarının baş ve boyun bölgelerinin kısa süreli soğutulmasının termal ve fizyolojik etkilerini incelemişlerdir. Deneyler hastalar otururken gerçekleştirilmiş ve 30 dakika boyunca hastalara soğutma uygulanmıştır. Hastaların ağız, kulak ve rektal sıcaklıkları, kalp hızları ölçülmüştür. Deneyler 15 dakika kontrol periyodu, 30 dakika soğutma periyodu ve 35 dakika toparlanma periyodu olarak düzenlenmiştir. SSG'nin su giriş sıcaklığı 1,5°C olarak kaydedilmiştir ve deneyler Şubat ve Ağustos aylarında gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak dinlenen MS hastalarında kısa süreli soğutmanın, çeşitli vücut sıcaklıklarını ve kalp hızını önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca bayan ve erkek deneklerin rektal ve vücut iç sıcaklıklarına bağlı olarak cinsiyet ve mevsim farklılıkları gözlenmiştir. Deneklere uygulanan el kavrama testlerinde, rektal vücut sıcaklığı 0,25°C düşmüş hastalarda, kavrama kuvvetinin arttığı tespit edilmiştir.

Kinnman ve ark. (2000), düzenli soğutmanın hastanın motor ve zihinsel fonksiyonlarına etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla 7 MS'li hastaya evlerinde, 6 hafta boyunca günde 2-3 kez, Mark VII mikro-iklimlendirme soğutma giysisi (bir yelek ve şapkadan oluşmaktadır) ile 40 dakika soğutma uygulanmıştır. Su giriş sıcaklığı 10°C olarak belirlenmiştir. Hortumlardan su ve glikol karışımı dolaşmaktadır. Yapılan deneyler sırasında bir fizyoterapist, hastanın çeşitli aktivitelerini incelemiştir. Ayrıca hastanın iç vücut sıcaklığının ölçümü için rektal sıcaklığı kaydedilmiştir. Sonuç olarak hastaların subjektif değerlendirmelerinde ve fonksiyonel iyileştirmede hemen hemen aynı sonuçlara varılmıştır. Hastaların çoğunda zihinsel ve motor fonksiyonları iyileşme göstermiştir. Bu deneylerde soğutma giysisi 6 hafta boyunca ortalama 30 saat kullanılmıştır. Günlük kullanımı ise ortalama 45 dakikadır. Ortalama rektal sıcaklığın azalması 0.18 °C'dir.

NASA/MS çalışma grubu tarafından (2003) yapılan deneysel çalışmalarda SSG kullanan MS hastalarının nörolojik fonksiyonları incelenmiştir. Bu amaçla

hastalarda yüksek ve düşük olmak üzere iki farklı soğutma uygulanmıştır. SSG bir yelek ve şapkadandır. Su giriş sıcaklıkları yüksek soğutma sağlayan giyside 55F ve düşük soğutma sağlayanda 70F olarak belirlenmiştir. Her soğutma işleminden sonra hastalara nörolojik değerlendirmeler yapılmış ve vücut sıcaklıkları, elektro-kardiyogramları ölçülmüştür. Hastalara oturur pozisyonda 60 dakika boyunca soğutma uygulanmıştır. Soğutmanın sonunda giysi çıkarılmış ve 30 dakika boyunca hastalardan vücut sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Elde edilen verilerden hastaların sıcaklığının düşmeye devam ettiği görülmüştür. Bunun nedenini ise soğuk derinin bir ısı tankı gibi görev yaparak vücudu soğutmaya devam etmesi olarak belirtmişlerdir. Deneyin devamında soğutma uygulanmamış hastalar, bir ay boyunca bir saat süre ile her gün evlerinde SSG kullanmışlardır. Hastalar yorgunluk ve nörolojik değerlendirmelerini kendileri gerçekleştirmişlerdir. Nörolojik testler sırasında vücudun çalıştırılmasına yönelik araştırmalar ve algılama ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak hem yüksek hem de düşük soğutma düzeylerinde hastaların vücut sıcaklıklarının düştüğü tespit edilmiştir. Hastaların hareket ve görme fonksiyonlarında olumlu gelişmeler olmuştur.

#### 4. MATERYAL

Bu çalışma kapsamında Türkiye'de ilk defa su soğutmalı bir giysi ve bu giysiye gerekli soğuk suyu sağlayacak soğutma ünitesi dizayn edilmiştir. Bu giysinin performansının test edilmesi için bir ölçüm sistemi tasarlanmış ve üretimi bir firma tarafından gerçekleştirilmiştir (Kayacan, 2007).

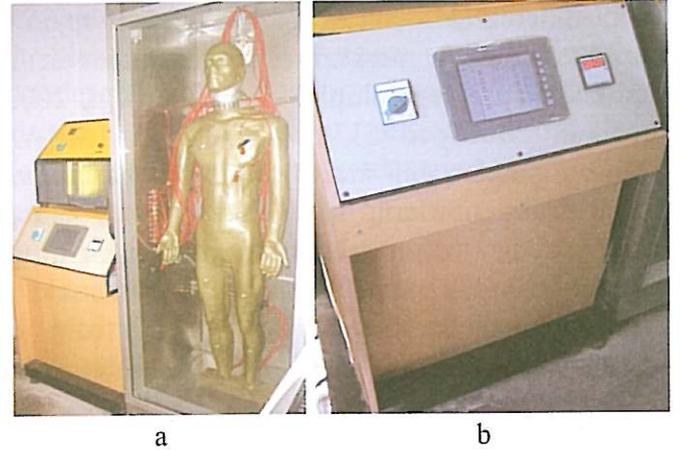
##### 4.1 Ölçüm Sistemi

Oluşturulan su soğutmalı giysi sisteminin etkisini araştırabilmek için bir termal manken ve termal mankenin bulunduğu ortam kabini tasarımı ile soğutma sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir.

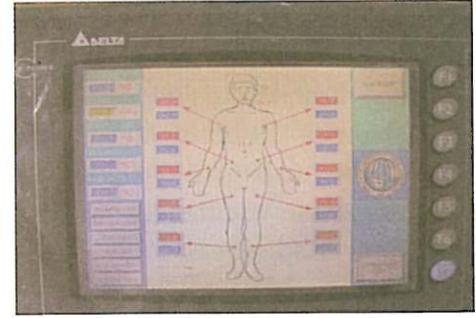
##### 4.1.1 Termal Manken

Termal manken yapısı 2 ana bölümden oluşmaktadır (Şekil 6). Bu bölümler şunlardır:

1. İnsan vücut yapısına benzeyen bakır bir manken
2. Kontrol ünitesi



Şekil 6. a) Termal manken ve ortam kabini b) kontrol paneli



Şekil 8. Kontrol ekranı

Kontrol panelindeki kontrol ekranı vasıtası ile mankenin vücut sıcaklığı ayarlanabilmektedir. Mankenin vücudu insan vücudunun sıcaklığını simüle edecek şekilde ısıtılıp soğutulabilmektedir. Mankenin bağlı bulunduğu kontrol panelinin iç kısmında bir sıcak su deposu bulunmaktadır. Bu deponun sıcaklığı kontrol panelinden ayarlanarak, mankenin içine sıcak su devirdaimi yapılmakta ve manken ısıtılmaktadır. Sıcak su mankene ayaklardan girmekte ve boyun kısmından da depoya geri dönmektedir.

Mankenin vücut sıcaklıkları sensörler ve okuyucular vasıtası ile farklı noktalardan ölçülebilmektedir. Bu ölçümlerin iki tanesi mankenin vücudunun içinden gerçekleştirilmektedir. Geri kalan sensörler ise manken üzerinde istenen bölgeye bantlar vasıtasıyla yapıştırılarak o bölgenin sıcaklığının ölçülmesi sağlanmaktadır. Her bir ölçüm noktası için kontrol paneline bu değerler aktarılmaktadır.

Ayrıca elde edilen veriler bilgisayar ortamına da iletilerek istenen sürelerde kaydedilebilmektedir.

#### 4.1.2 Ortam Kabini

Mankenin bulunduğu ortam kabininin sıcaklık ve nem ayarları kontrol panelinden gerçekleştirilmektedir (Şekil 6). Kabin sıcaklığı  $-10^{\circ}\text{C}$  ile  $+50^{\circ}\text{C}$  arasında ayarlanabilmektedir. Kabindeki ortam şartları değerleri, termal mankende olduğu gibi bilgisayara aktararak kaydedilmektedir.

#### 4.1.3 Soğutma Sistemi

Suyun soğutulması ve sisteme pompalanması için tasarlanan soğutma ünitesi, kompresörlü bir soğutma sistemi vasıtası ile suyu  $5-25^{\circ}\text{C}$  arasında soğutabilmektedir (Şekil 8). Soğutma ünitesi, bir devirdaim pompası vasıtası ile uzunluğu 20–50 metre arasında olan ince hortumların içinden soğuk suyu dolaştırılabilmektedir. Su daha sonra tekrar soğutma ünitesine geri beslenmektedir. Suyun dolaştırılması sırasında su akış hızı (suyun debisi) farklı hızlarda ayarlanabilmektedir. Suyun soğutma cihazından çıkıp sisteme girdiği ve sistemden çıktığı bölgedeki bağlantı noktalarında su sıcaklık ölçümleri sıcaklık sensörleri yardımıyla gerçekleştirilmektedir.



Şekil 8. Soğutma ünitesi

#### 4.2 Su Soğutmalı Giysi

Tasarlanan su soğutmalı giysiden dört adet üretilmiştir. Tüm örneklerin boyu yaklaşık 45 cm'dir. Soğutma hortumu olarak PVC hortum kullanılmıştır. Bu hortumların iç çapı 4,5 mm, dış çapı ise yaklaşık 6,5 mm'dir.

Tablo 1. Üretilen su soğutmalı giysinin yapısal özellikleri

Giysi Bölümü	Kumaş Özellikleri
Dış yüz	Düz örme kumaş (%100 yün)
Ara yüz	PES çözgümlü örme kumaş
İç yüz	Dokuma sargı bezi (%100 pamuk)

Bu örneğin tasarımında dış yüzey olarak düz örme kumaş, iç yüzey olarak sargı bezi ve hortumların dikildiği delikli bir kumaş kullanılmıştır. Düz örme kumaş, Diamant el örme makinesinde ( $E=8$ ) Nm 28/2 yün iplikten üretilmiştir. Ayrıca kenar kıvrılmalarını önlemek amacıyla yün kumaşın iç yüzeyine tela yapıştırılmıştır. Sistemin iç yüzeyini oluşturan kumaş yapısı, %100 pamuk ipliğinden üretilmiş  $1\text{ cm}^2$ 'sinde 17-20 tel iplik bulunan 10 cm ve 5 cm eninde dokuma sargı bezlerinden oluşturulmuştur. Sargı bezleri yan yana 45 cm olacak şekilde dikilmiştir.

Hortumun dikildiği delikli kumaş polyester iplikten üretilmiş ağ yapılı çözgümlü örme kumaştır. Hortumlar bu kumaş üzerine sabit aralıklarla (yaklaşık 1,5 cm aralıklarla) dikilmiştir. Hortumların üzerine sargı bezi yerleştirilmiş ve hortumlar delikli kumaş tabakası ile sargı bezi arasında kalacak şekilde kenarlardan dikilerek birleştirilmiştir (Şekil 9). Tasarımda yaklaşık 21,1 m hortum kullanılmıştır. Yünlü kumaş tabakası ise delikli kumaşa dış yüzeyden tutturulmuştur.



Şekil 9. Su soğutmalı giysi a) iç yüzeyinin yakından görünüşü b) dış ve iç yüzeyinin genel görünümü

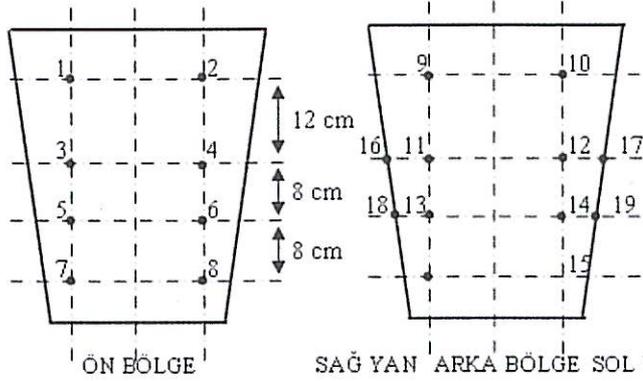
#### 5. METOT

Örnek giysi özelliklerinin incelenmesi sırasında soğutma ünitesi 3 farklı debide ve 3 farklı su giriş sıcaklığında ayarlanmıştır (Tablo 2). Deneyler kuru manken üzerinde gerçekleştirileceğinden ortamın nemi ihmal edilmiştir.

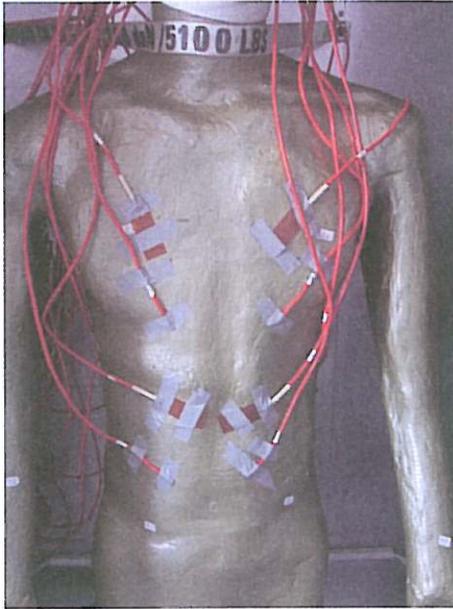
Tablo 2. Test koşulları

Manken Sıcaklığı	Kabin Sıcaklığı	Debi	Su Giriş Sıcaklığı
$40 \pm 1^{\circ}\text{C}$	$23 \pm 1^{\circ}\text{C}$	250 ml/dk	$13^{\circ}\text{C}$ $10^{\circ}\text{C}$ $7^{\circ}\text{C}$
$40 \pm 1^{\circ}\text{C}$	$23 \pm 1^{\circ}\text{C}$	375 ml/dk	$13^{\circ}\text{C}$ $10^{\circ}\text{C}$ $7^{\circ}\text{C}$
$40 \pm 1^{\circ}\text{C}$	$23 \pm 1^{\circ}\text{C}$	500 ml/dk	$13^{\circ}\text{C}$ $10^{\circ}\text{C}$ $7^{\circ}\text{C}$

8 ön, 7 arka, 2 sol yan ve 2 sağ yan olmak üzere manken üzerinden 19 farklı noktadan sıcaklık ölçümü alınmıştır. Şekil 10'da bu sensörlerin yerleşim şeması verilmektedir. Şekil 11'de ise mankenin ön yüzündeki sensörlerin yerleşim şekli gösterilmektedir



Şekil 10. Mankenin vücuduna yerleştirilen sensörlerin yerleşim şeması



Şekil 11. Mankenin vücuduna yerleştirilen sensörlerin yerleşim şekli

Ayarlanan her su debisi için dört aşamalı deneyler gerçekleştirilmiştir.

Birinci aşamada giysi, mankenin üzerine giydirilmiş (Şekil 12) ve depo sıcaklığı 40°C'ye ayarlı olacak şekilde mankenin sıcaklığı arttırılmıştır. Sıcaklık maksimum seviyeye yükseldikten sonra deponun ısıtılma işlemi durdurulmuş ve mankene su pompalanmaya devam edilmiştir. Bu süre zarfında 60 dakika boyunca

mankenin soğuma eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 12. Termal Manken ve Tasarlanan Giysinin Manken Üzerine Yerleşimi

Deneyin diğer aşamalarında mankenin depo sıcaklığı tekrar 40°C olarak ayarlanmış, sıcaklık maksimum seviyeye yükseldikten sonra deponun ısıtılma işlemi durdurulmuş ve mankene su pompalanmaya devam edilmiştir. Sıcaklık maksimum seviyeye ulaştıktan sonra ısıtılan manken üzerindeki su soğutmalı giysi aktif hale getirilerek mankenin 60 dakika süresince soğuma eğrisi elde edilmiştir. Ayarlanan debi için ikinci deney aşamasında su giriş sıcaklığı 13°C, üçüncü deney aşamasında su giriş sıcaklığı 10°C ve dördüncü deney aşamasında su giriş sıcaklığı 7°C olarak ayarlanmıştır.

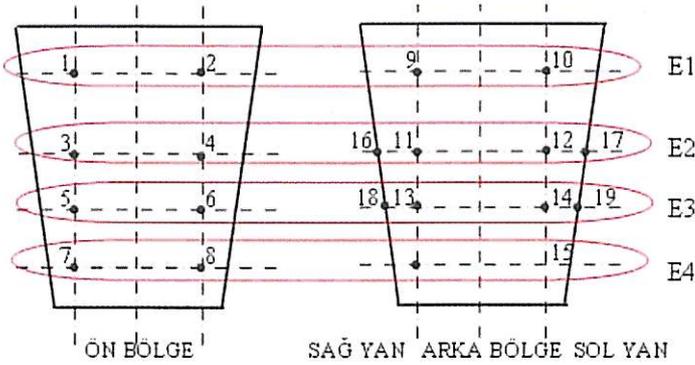
Su soğutmalı giysi örneği dört adet oluşturulduğu için yukarıda bahsedilen deney aşamaları her deney grubu için dört kez gerçekleştirilmiştir.

Termal mankenin üzerindeki sensörlerden elde edilen sıcaklık verileri dakikada bir bilgisayara aktarılmıştır. Elde edilen bu veriler sayesinde su soğutmalı giysiye transfer edilen ısı miktarı (1) numaralı formül kullanılarak hesaplanmıştır.

Deney sonuçlarının değerlendirilmesi için termal manken üzerinden elde edilen sıcaklık değerleri ve su soğutmalı giysinin ısı absorbe etme miktarı değerleri grafiksel olarak üç farklı şekilde çizdirilerek yorumlanmıştır.

1. grafik metodunda her giysi tasarımı için elde edilen tüm sıcaklık değerlerinin ve SSG'nin ısı absorbe etme enerjisinin ortalamaları alınmıştır. Su soğutmalı giysinin çalıştırılmadığı durumda, yani deneylerin birinci aşamasında elde edilen veriler referans değeri olarak alınmıştır. Referans değerlerinin ortalamalarından mankenin soğutulması sırasında elde edilen verilerin ortalamalarının çıkarılması ile aradaki farklar elde edilmiştir.

2. grafik metodunda ise termal mankenin enine kesitleri göz önüne alınmıştır. Her giysi tasarımı için aynı enine kesitteki sensörlerden elde edilen verilerin, her su giriş sıcaklığı ve su debisi için ayrı ayrı ortalamaları alınmıştır. Mankenin su soğutmalı giysi ile soğutulmadığı durumda elde edilen veriler referans noktası olarak alınmıştır ve bu değerlerden mankenin su soğutmalı giysi ile soğutulduğu sırada elde edilen değerler çıkarılarak ardaki farklar bulunmuştur. Mankenin üzerinden alınan enine kesit sayısı 4 adettir. Bu kesitlere göre sensörlerin ortalamaları Şekil 13'deki bölgelere ayrılarak alınmıştır.



Şekil 13 Mankenin vücudu üzerindeki enine kesit bölgelerinin yerleşimi

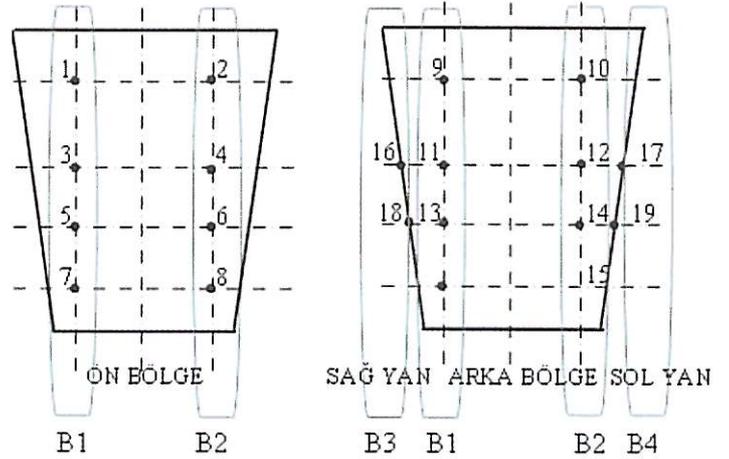
E1: 1, 2, 9, 10 numaralı sensörler, E2: 3, 4, 11, 12, 16, 17 numaralı sensörler

E3: 5, 6, 13, 14, 18, 19 numaralı sensörler, E4: 7, 8, 15 numaralı sensörler

3. grafik metodunda ise termal mankenin boyuna kesitleri göz önüne alınmıştır. Her giysi tasarımı için aynı boyuna kesitteki sensörlerden elde edilen verilerin, her su giriş sıcaklığı ve su debisi için ayrı ayrı ortalamaları alınmıştır. Mankenin su soğutmalı giysi ile soğutulmadığı durumda elde edilen veriler referans noktası olarak alınmıştır ve bu değerlerden mankenin su

soğutmalı giysi ile soğutulduğu sırada elde edilen değerler çıkarılarak aradaki farklar bulunmuştur. Mankenin üzerinden alınan boyuna kesit sayısı 4 adettir. Bu kesitlere göre sensörlerin ortalamaları Şekil 14'deki bölgelere ayrılarak alınmıştır.

Elde edilen veriler MATLAB programı kullanılarak grafikler halinde çizdirilmiştir.



Şekil 14 Mankenin vücudu üzerindeki boyuna enine kesit bölgelerinin yerleşimi

B1: 1, 3, 5, 7, 10, 12, 14, 15 numaralı sensörler, B2: 2, 4, 6, 8, 9, 11, 13 numaralı sensörler

B3: 16, 18 numaralı sensörler, B4: 17, 19 numaralı sensörler

## 5. BULGULAR

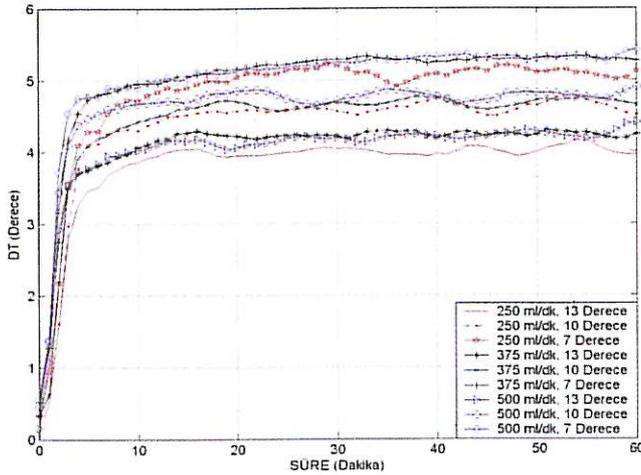
Su soğutmalı giysi kullanarak termal mankenin 60 dakika boyunca soğutulması sonucunda termal mankenin üzerinden elde edilen tüm verilerin ortalaması alınarak yapılan değerlendirmeler Şekil 15, Şekil 16 ve Şekil 17'de verilmektedir. Bu veriler incelendiğinde Su soğutmalı giysi ile soğutma yapıldığında su giriş sıcaklığı değerleri azaldıkça ve suyun debisi arttıkça mankenden giysiye transfer edilen ısı miktarı artmaktadır.

Sıcaklık farkının (DT) zamana bağlı olarak değişimi incelendiğinde 13°C ve 7°C su giriş sıcaklıkları için 375 ml/dk su debisi ile elde edilen verilerin 500 ml/dk ile elde edilen verilerle hemen hemen aynı olduğu görülmektedir (Şekil 15). Şekil 16'daki Q-DT grafiği yani su soğutmalı giysinin ısı absorbe etme miktarı ve sıcaklık farkları arasındaki ilişkiyi gösteren grafik incelendiğinde bu durum açıkça görülmektedir.

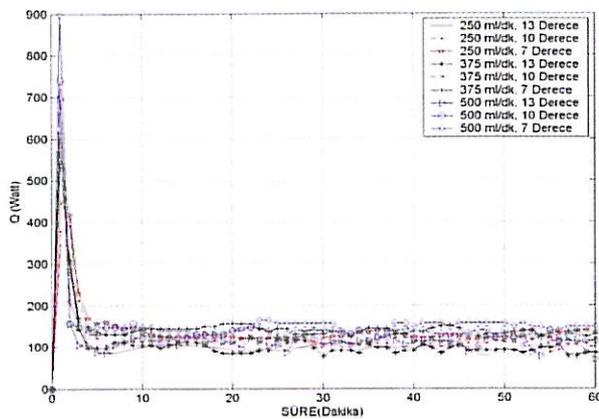
375 ml/dk su debisi ile yapılan soğutma ile 500 ml/dk su debisi ile yapılan soğutmada 7C ve 10C'de su soğutmalı giysinin ısı absorbe etme miktarının birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir.

Su soğutmalı giysinin ısı absorbe etme miktarı incelendiğinde soğutmanın ilk dakikalarında tüm debilerde aşırı miktarda ısı transferi gerçekleşmiştir. Daha sonra veriler kararlı bir hale gelmektedirler. Soğutmanın ilk dakikalarında sıcak olan manken vücuduna aşırı soğuk bir yüzey temas ettirildiği için ısı transferi miktarı oldukça fazla olmaktadır (Şekil 16).

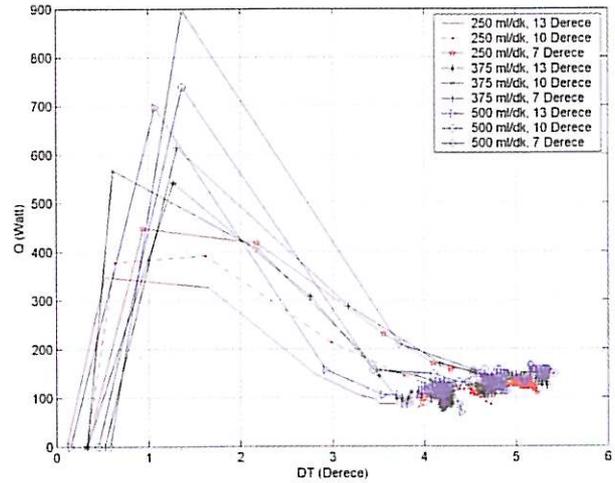
500 ml/dk su akış hızı ile gerçekleştirilen soğutma deneylerinde oldukça yüksek ısı transferi meydana gelmiştir. Bu değerleri sırasıyla 375 ml/dk ve 250 ml/dk su debisi ile gerçekleştirilen deneyler izlemiştir (Şekil 16).



Şekil 15. Su Soğutmalı Giysi Sıcaklık Farkı Eğrileri (Tüm Değerlerinin Ortalaması Alınarak Elde Edilmiş)



Şekil 16. Su Soğutmalı Giysinin Isı Absorbe etme Miktarları



Şekil 17. Su Soğutmalı Giysi Isı Absorbe Etme ve Sıcaklık Farkı Eğrileri (Tüm Değerlerinin Ortalaması Alınarak Elde Edilmiş)

Tablo 3. Termal mankenin 60 dakika boyunca soğutulması sonucunda elde edilen sıcaklık farkı değerlerinin ortalaması °C

Debi	Su Giriş Sıcaklıkları		
	13 °C	10 °C	7 °C
250 ml/dk	3,8	4,3	4,8
375 ml/dk	4,0	4,4	5,0
500 ml/dk	4,0	4,6	5,0

Tablo 3'te termal mankenin 60 dakika boyunca soğutulması sırasında 19 adet sensörden elde edilen sıcaklık farkı verilerinin tamamının ortalaması verilmektedir. Bu tabloya göre 250 ml/dk debide ve 13 °C su giriş sıcaklığında 3,8°C olarak en düşük sıcaklık farkı değeri, 375 ml/dk ve 500 ml/dk debide ve 7°C su giriş sıcaklığında 5°C olarak en yüksek sıcaklık farkı değeri elde edilmiştir. Her debi için su giriş sıcaklığı azaldıkça, sıcaklık farkının arttığı net bir şekilde görülmektedir. 375 ml/dk ve 500 ml/dk debilerde sıcaklık farkları arasında çok anlamlı bir değişime gözlenmemiştir.

Tablo 4. Termal mankenin 60 dakika boyunca soğutulması sonucunda enine kesitlere göre elde edilen sıcaklık farkı değerlerinin ortalaması °C

Debi	Su Giriş Sıcaklıkları											
	13 °C				10 °C				7 °C			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
250 ml/dk	2,4	3,5	4,4	5,1	2,8	4,0	5,0	5,8	3,3	4,5	5,4	6,2
375 ml/dk	2,7	3,6	4,7	5,4	2,9	3,9	5,2	5,9	3,4	4,4	5,8	6,6
500 ml/dk	2,7	3,5	4,7	5,3	3,1	4,0	5,4	6,0	3,4	4,4	5,9	6,6

Enine kesitlerden elde edilen ortalama sıcaklık farkı değerleri incelendiğinde (Tablo 4.) E1 bölgesinden elde edilen, yani mankenin en üst bölgesindeki kesitten elde edilen sıcaklık farklılıkları en düşük değerler olarak çıkmıştır. Bunu sırasıyla E2, E3 ve E4 bölgeleri takip etmektedir. En düşük su debisi ile en yüksek su giriş sıcaklığında çalıştırılan soğutmalı giysiler için, yani 250 ml/dk su akış hızı ve 13°C su giriş sıcaklığı için elde edilen sıcaklık farkı değerleri en düşük değerler olarak gözlenmiştir. En yüksek sıcaklık farkları ise 500 ml/dk ve 375 ml/dk su akış hızı ve 7°C su giriş sıcaklıkları için gözlenmiştir.

Tablo 5. Termal mankenin 60 dakika boyunca soğutulması sonucunda boyuna kesitlere göre elde edilen sıcaklık farkı değerlerinin ortalaması °C

Debi	Su Giriş Sıcaklıkları											
	13°C				10°C				7°C			
	B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4
250 ml/dk	3,7	3,5	4,3	4,5	4,2	4,0	4,9	5,2	4,7	4,5	5,5	5,6
375 ml/dk	4,0	3,9	4,6	4,5	4,3	4,2	5,0	5,0	4,9	4,8	5,7	5,6
500 ml/dk	3,9	3,8	4,5	4,5	4,5	4,4	5,2	5,1	4,9	4,8	5,7	5,6

Tablo 5'te boyuna kesitlerden elde edilen soğuma farkları incelendiğinde sıcaklık farklarının yaklaşık 3,5°C ile 5,6°C arasında değiştiği görülmektedir. Enine kesitlerde olduğu gibi en düşük su debisi ile en yüksek su giriş sıcaklığında çalıştırılan soğutmalı giysiler için, yani 250 ml/dk su akış hızı ve 13°C su giriş sıcaklığı için elde edilen sıcaklık farkı değerleri en düşük değerler olarak gözlenmiştir. En yüksek sıcaklık farkları ise 500 ml/dk ve 375 ml/dk su akış hızı ve 7°C su giriş sıcaklıklarında elde edilmiştir. Boyuna kesit bölgeleri karşılaştırıldığında en yüksek sıcaklık farkı B4 bölgesinde oluşmuştur. Bu sıcaklık farkını sırasıyla B3, B1 ve B2 bölgeleri takip etmektedir.

## 6. SONUÇ

Bu çalışmada tıp alanında kullanılmak üzere Türkiye'de ilk olarak bir su soğutmalı giysi tasarımı ve bu tasarımı test etmek amacıyla bir ölçüm sistemi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan soğutmalı sistemde

diğer sistemlerden farklı olarak kumaş yapısında iç yüzey olarak bandaj dış yüzey olarak ise yün kumaş kullanılmıştır. Bu sistemin soğutma etkinliğini araştırmak için öncelikle termal manken üzerinde deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 60 dakika boyunca soğutma sonucunda debiye ve su giriş sıcaklığına bağlı olarak tüm ortalamalar göz önüne alındığında 3,8°C ile 5°C arasında sıcaklık farkları elde edilmiştir. Enine kesitlerdeki sıcaklık farkları göz önüne alındığında 2,4°C ile 6,6°C arasında, boyuna kesitler göz önüne alındığında ise 3,7°C ile 5,6°C bir soğuma farkı elde edilmiştir. Ayrıca su giriş sıcaklığı azaldıkça ve su debisi arttıkça sistemin soğutma etkisi artmaktadır.

Ancak yapılan bu deneyler termal manken üzerinde olduğu için sadece giysinin soğutma etkisini göstermektedir. Tam olarak insan vücudunun tepkilerini vermemektedir. İnsanların metabolizmalarının çok farklı olması sebebi ile bu sistemin kullanıldığı durumdaki soğutma etkisi farklı kişilerde farklı şekillerde tespit edilebilecektir. Bu sebeple bundan sonraki çalışmalarda sistemin hastalar üzerindeki etkilerinin incelenmesi planlanmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Adıgüzel, Ö., 2007, Ektodermal Displazi, [www.ektodermaldisplazi.com](http://www.ektodermaldisplazi.com)
- Ames Research Center, 1993. New Help For Ms Patients, Spinoff93, 52-55, [www.sti.nasa.gov](http://www.sti.nasa.gov)
- Burton, D.R., Collier, L., 1964. The Development of Water Conditioned Suits. Tech. Note ME-400, Royal Craft Establishment, Farnborough
- Cao H., Branson, D.H., Peksöz, S., Nam, J., Farr, C.A., 2006. Fabric Selection for A liquid Cooling Garment, Textile Research Journal, Cilt: 76, Sayı 7, 586-595
- Chambers, A.B., 1970. Controlling thermal comfort in the EVA Space Suit, ASHRAE J., Mart, 33-38.

- Dionne J.-P., Semeniuk, K., Makris, A., Teal, W., Laprice, B., Thermal Manikin Evaluation of Liquid Cooling Garments intended for use in Hazardous Waste Management, WM'03 Conference, 2003, Tucson, ABD
- Hexamer, M., Werner, J., 1994. Strategies for Automatic Control Of Cooling Garments. 6. International Congress on Environmental Ergonomics, Montebello, Kanada
- Hexamer, M., Xu, X., Werner, J., 1996. Automatic Multi-loop Control of Cooling Garments, 7. International Congress on Environmental Ergonomics, Kudüs, İsrail
- Hexamer, M., Werner, J., 1998. Automatic control of liquid cooling garments: What is the ideal control mode?, 8. International Congress on Environmental Ergonomics, San Diego, ABD
- Jetté, F.X., Dionne, J.-P., Rose J., Makris, A., 2004. Effect of thermal Manikin Surface Temperature on the Performance of Personal Cooling Systems, European Journal of Applied Physiology.
- Katsuura, T., Hiroshi, O., Yasuyuki, K., 1990. Effects of Head Cooling on Man During Light Exercise in A Hot Environment, International Congress on Environmental Ergonomics, Austin, ABD
- Kayacan, Ö, Doktora Tezi, DEÜ. Fen Bilimleri Enst., 2007
- Kinnman, J., Andersson, U., Wetterquist, L., Kinnman, Y., Andersson, U., 2000. Cooling Suit for Multiple Sclerosis: Functional Improvement in Daily Living?, Scand J Rehab Med, 32, 20-24
- Kraft H.G.H., Alquist A.D., 1996. Effect of Microclimate Cooling on Physical Function in MS, Rehabilitation R&D Progress Reports
- Ku, Y.-T., Montgomery, L.D., Wenzel, K., Webbon, B., Burks, J.S., 1999. Physiologic and Thermal Responses of Male and Female Patients with Multiple Sclerosis to Head and Neck Cooling, Physical Medicine&Rehabilitation, Cilt:78(5), 447-456.
- NASA explores, September 26, 2002, www.nasaexplores.com
- NASA/MS çalışma grubu tarafından, 2003. A Randomized Controlled Study of the Acute and Chronic Effects of Cooling Therapy for MS, Neurology, Haziran, 1955-1960
- NFED (Ulusal Ektodermal Displazi Vakfı -National Foundation of Ectodermal Dysplasias), www.nfed.org
- Nunneley, S.A., 1970. Water Cooled Garments: a review, Space Life Sciences, Cilt:2, Sayı:3, 335-360.
- Roberts, A., Harper-Bennie, J., 2004. Multiple Sclerosis and Cooling, www.msaa.com
- Semeniuk, K. M., Dionne, J.P., Makris, A., Bernard, T. E., Ashley, C.D. ve Medina, T., 2004. Evaluating The Physiological Performance Of A Liquid Cooling Garment Used To Control Heat Stress In Hazmat Protective Ensembles, Performance of Protective Clothing: Global Needs and Emerging Markets: 8th Symposium, 13 Ocak, Florida, Amerika
- Speckman, K.L., Allan, A.E., Sawka, M.N., Young, A.J., Muza, S.R., Pandolf, K.B., 1988. Perspectives in Microclimate Cooling Involving Protective Clothing in Hot Environments, International Journal of Industrial Ergonomics, Cilt 3, Sayı 2, 121-147
- Türkiye Multipl Skleroz Derneği, 2003. Multipl Skleroz, <http://dmsg-hessen.de/dokumentearchiv/Info-tuerkisch.doc>
- Waligore, J.S. ve Michel, E.L., 1968. Application of Conductive Cooling for Working Men in a Thermally Isolated Environment, Aerospace Med., 39, 485-467.
- Xu, X., Hexamer, M., Werner, J., 1999. Multi-loop Control of Liquid Cooling Garment Systems, Ergonomics, Cilt 49, Sayı 2, 282-298.
- www.ntvmsnbc.com, 2006, Multiple Skleroz ile Yaşamak.
- www.coolshirt.net
- www.fastraceproducts.com
- Yavuz, İ., 2007. Ektodermal Displazi Nedir?, www.ektodermaldisplazi.com