



**MERKEZİ SİNİR SİSTEMİNİ KORUMAK İÇİN
HİPOTERMİ OLUŞTURMAYA YÖNELİK BİR
CİHAZ MODELİ GELİŞTİRİLMESİ**

Musa DEMİR

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nesrin ADIGÜZEL

Doktora Tezi

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

2023

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**MERKEZİ SİNİR SİSTEMİNİ KORUMAK İÇİN HİPOTERMİ OLUŞTURMAYA
YÖNELİK BİR CİHAZ MODELİ GELİŞTİRİLMESİ**

(Development of a Device Model for Generating Hypothermia to Preserve the Central
Nervous System)

DOKTORA TEZİ

Musa DEMİR

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nesrin ADIGÜZEL

Erzurum
Nisan, 2023

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Musa DEMİR tarafından hazırlanan “Merkezi Sinir Sistemini Korumak İçin Hipotermi Oluşturmaya Yönelik Bir Cihaz Modeli Geliştirilmesi” başlıklı çalışması 13/04/2023 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Termodinamik Bilim Dalında doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. M. Akif CEVİZ <i>Erzurum Teknik Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Danışman:	Dr. Öğr. Üyesi Nesrin ADIGÜZEL <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. Mehmet AKSOY <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. Şendoğan KARAGÖZ <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. Faraz AFŞAR <i>Erzurum Teknik Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır

Enstitü Yönetim Kurulunun
.../.../.... tarih ve sayılı
kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN

Enstitü Müdürü

Aslı Islak İmzalıdır

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Doktora Tezi olarak *Dr. Öğr. Üyesi Nesrin ADIGÜZEL* danışmanlığında sunulan “Merkezi Sinir Sistemini Korumak İçin Hipotermi Oluşturmaya Yönelik Bir Cihaz Modeli Geliştirilmesi” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	%9	30
Kuramsal Temeller	%25	30
Materyal ve Yöntem	%10	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	%8	20
Sonuç ve Öneriler	%2	20
Tezin Geneli	%13	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Musa DEMİR	Dr. Öğr. Üyesi Nesrin ADIGÜZEL
13.4.2023	13.4.2023
İmza: Aslı Islak İmzalıdır	İmza: Aslı Islak İmzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım sürecinde bilgisi ve tecrübesi ile desteğini esirgemeyen danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Nesrin ADIGÜZEL'e teşekkürlerimi sunarım. Deneysel sistemimin oluşturulması ve deneylerin yapılması aşamalarında bilgisinden, yardımından ve desteğinden çokça yararlandığım Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Numan ÖZAKIN' a ve Tez İzleme Komitesi (TİK) üyelerim sayın Doç. Dr. Mehmet AKSOY, Doç. Dr. Şendoğan KARAGÖZ' e, bu zorlu süreçte manevi desteklerini esirgemeyen Sayın Emrah POLAT' a, Sayın Arş. Gör. Burak HÜLAGÜ, Sayın Arş. Gör. Orhan YILDIRIM'a, ve Teknoloji Transfer Ofisi Üniversite Sanayi İşbirliği Uzmanı Sayın Alperen ZENGİN'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca akademik çalışmalarımı sağlıklı bir şekilde devam ettirmem açısından her zaman yanımda olan Giresun Üniversitesi Makine Mühendisliğindeki hocalarıma ve son olarak her zaman desteklerini hissettiğim kıymetli aileme en içten şükran duygularımı sunarım.

Musa DEMİR

ÖZET

DOKTORA TEZİ

MERKEZİ SINIR SİSTEMİNİ KORUMAK İÇİN HİPOTERMİ OLUŞTURMAYA YÖNELİK BİR CİHAZ MODELİ GELİŞTİRİLMESİ

Musa DEMİR

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nesrin ADIGÜZEL

Amaç: Ameliyat sonrasında, yoğun bakımda ve kalp ameliyatları sonrasında kalp durması geçiren hastalarda, beyne kan akışı soğutulurken diğer organlara normal vücut sıcaklığında kan akışının devam ettirilmesi, olası komplikasyonları azaltmak amacıyla önemlidir. Bu nedenle, bu çalışma, santral sinir sistemi soğutulurken vücudun diğer bölgelerinin normal sıcaklıkta tutulabilmesini sağlayacak bir cihaz modelinin geliştirilmesini amaçlamaktadır.

Yöntem: Bu cihaz modelinde, tüm vücudu soğutmak yerine ihtiyaç duyulan bölgelere soğutma işlemleri yapmanın daha uygun olacağı düşünülmüştür. Beyinde şişme meydana gelmesi nedeniyle kalp ameliyatları sonrasında istenilen sıcaklık aralığında çalışabilen bir cihaz yapmak amaçlanmıştır. Cihaz modeli bir boyunluk içerir ve kontrol hacmi boyun bölgesinde yer alır. Bu amaç doğrultusunda, bir soğutma makinesi tasarlanmış ve üretilmiştir. Soğutma makinesinin etkinlik katsayısı ve boyun bölgesindeki damarlar arasındaki ΔT sıcaklık farkını oluşturma kapasitesi için parametreler belirlenmiştir. Bu parametreler arasında evaporatör debisi, kondenser debisi, kılcal boru uzunluğu ve bant geometrisi bulunmaktadır. Her bir parametre için 3 farklı değişken seviyesi bulunmaktadır.

Bulgular: Değişken parametreler MINITAB 19 programına girilmiştir. Yanıt yüzeyi yöntemi ile yapılacak olan deney sayısı 60 olarak belirlenmiştir.

Sonuç: Yapılan optimizasyon analizi sonuçlarına göre evaporatör debisi 50L/h, kondenser debisi 209,596 (L/h), kılcal boru uzunluğu 2m, ve bant geometrisi çapraz olması durumu optimumdur. Bu şartlar altında (evaporatör debisi 50L/h, kılcal boru uzunluğu 2m, bant geometrisi çapraz, kondenser debisi yaklaşık 200-225L/h arasında bir değer alınmış olup, COP etkinlik sayısı 1.999, ΔT değeri ise 2,593 olarak ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Beyin Soğutma, Isı Transferi, İnsan Sağlığı

Nisan 2023, 91 sayfa

ABSTRACT

DOCTORAL DISSERTATION

DEVELOPMENT OF A DEVICE MODEL FOR GENERATING HYPOTHERMIA TO PRESERVE THE CENTRAL NERVOUS SYSTEM

Musa DEMİR

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Nesrin ADIGÜZEL

Purpose: After surgery, during intensive care and after heart surgeries in patients who experience cardiac arrest, it is important to maintain normal blood flow to other organs while cooling blood flow to the brain in order to reduce potential complications. Therefore, the aim of this study is to develop a device model that can keep other parts of the body at normal temperature while cooling the central nervous system.

Method: In this device model, it is considered more appropriate to cool only the required areas instead of cooling the entire body. The aim is to design a device that can work within the desired temperature range after heart surgeries due to brain swelling. The device model includes a neck brace, and the control volume is located in the neck area. In this direction, a cooling machine has been designed and produced. Parameters have been determined for the effectiveness coefficient of the cooling machine and the ability to create ΔT temperature difference between the blood vessels in the neck area. These parameters include evaporator flow rate, condenser flow rate, capillary tube length, and belt geometry. There are 3 different variable levels for each parameter.

Findings: The variable parameters have been entered into the MINITAB 19 program. The number of experiments to be performed using the response surface method has been set to 60.

Results: "According to the results of the optimization analysis, the optimal values for the evaporator flow rate, condenser flow rate, capillary tube length, and strip geometry were found to be 50 L/h, 209,596 L/h, 2 m, and cross, respectively. The evaporator flow rate is 50L/h, the length of the capillary tube is 2m, the belt geometry is diagonal, and the condenser flow rate is approximately between 200-225L/h. The COP efficiency value is measured as 1.999 and the ΔT value is 2.593.

Keywords: Brain Cooling, Heat Transfer, Human Health

Nisan 2023, 91 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
GİRİŞ.....	1
Ulusal Kazanım Açısından Önemi.....	2
Literatür Araştırmaları	4
KURAMSAL TEMELLER.....	28
Kontrol Hacimlerinde Kütlenin Korunumu	30
Plakalı Isı Değiştiricileri	32
Contalı Plakalı Isı Değiştiricileri.....	32
Lehim Plakalı Isı Eşanjörü	34
Plakalı Eşanjörün Yapısı	36
Aynı Yönlü ve Zıt Yönlü Akışlı Bakır Plakalı Isı Değiştirici Eşanjörleri	37
MATERYAL ve YÖNTEM	39
Deney Sistemi	39
Everest ultrasonik Clean-EX-N1211 Genel Özellikleri.....	44
Debi Ölçer (LZS-15).....	44
Kompresör.....	45
Evaporatör	45
Kondenser	46
Genleşme elemanı	46
Gözetleme camı.....	47
Ara Vana	47
Drayer (kurutucu fitre)	47
Analog manifold	47
Basınç ölçüm saati.....	48
Soğutucu akışkan.	49

Soğutucu Akışkanlarda İstenen Özellikler	49
Hassas terazi.....	50
Bakır boru	50
Bakır boru makasları	51
Bakır boruların bükülmesi	53
Bakır boruların lehim ile birleştirilmesi	54
Sıcak su sirkülasyon pompası	55
Veri Kaydedici Cihazlar.....	56
ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	58
Deney Planı ve Yanıt Yüzey Yöntemi	58
SONUÇ ve ÖNERİLER	71
Sonuçlar.....	71
Öneriler	72
KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	77

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Lehimli ve Contalı Plakalı Isı Değiştiricilerin Karşılaştırması	36
Tablo 2. Deney sisteminde kullanılan debi miktarları	43
Tablo 3. Veri Kaydedici Özellikleri	56
Tablo 4. Parametrelerin Değişken Seviyeleri	59
Tablo 5. Deney Düzenğinde ANOVA İçin Gösterim Şeması	60
Tablo 6. RSM Deney Planı ve Elde Edilen Sonuçlar	61
Tablo 7. Optimum Değerler.....	67
Tablo 8. ΔT İçin ANOVA Tablosu.....	68
Tablo 9. Model Özeti	69
Tablo 10. COP Etkinlik Katsayısı İçin ANOVA Tablosu	69
Tablo 11. Model Özeti	70

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Soğutma yapan cihaz modeli.	3
Şekil 2. Nedenlere göre ölüm oranı, 2018, 2019	4
Şekil 3. Nedenlere göre ölüm oranı, 2020, 2021	4
Şekil 4. Beyin koruması ve beyin anabiyozu için kullanılan ayılma işlevine sahip cihaz.	6
Şekil 5. Beyin hücrelerini koruma etkisine sahip cihaz.	6
Şekil 6. Beyin dokularını lokal soğutma cihazı.....	7
Şekil 7. Pediatri bölümündeki hastaların vücut sıcaklığının saptanması için soğutma cihazı. ..	8
Şekil 8. Acil tedavi için soğutma cihazı.	9
Şekil 9. Tıbbi soğutma buz kapağı.	9
Şekil 10. Kafa soğutma cihazı.....	10
Şekil 11. Hasta sıcaklığı kontrol battaniyesi.	10
Şekil 12. Vücudun baş bölgesini soğutma cihazı.	11
Şekil 13. Kafa tranvası geçiren hasta baş soğutma cihazı	12
Şekil 14. Aşırı hipotermik tedavisi için kullanılan bir cihaz.	13
Şekil 15. Kafa bölgesini soğutmak için kullanılan bir cihaz.	14
Şekil 16. Kafa soğutma ünitesi.....	14
Şekil 17. Kafa bölgesi hariç tüm vücut soğutma cihazı.	15
Şekil 18. Kafa bölgesini katı CO ₂ kuru buz parçacıkları ile soğutma cihazı.....	16
Şekil 19. Kafa bölgesini soğutma kaskı.	16
Şekil 20. Plastik cerrahide şişkinliği önlemek için cihaz.	17
Şekil 21. Isıtma ve soğutma muhafaza kıyafeti.....	18
Şekil 22. Baş bölgesini canlandırmak için kullanılan cihaz.	19
Şekil 23. Beyin soğutma cihazı.	19
Şekil 24. Hastanın kafa bölgesini soğutma cihazı.	20
Şekil 25. Sıcaklık kontrol cihazı.	21
Şekil 26. Hipotermi ve kardiyo-solunum güçlendirme cihazı.....	21
Şekil 27. İnme tedavisinde kullanılan cihaz.	22
Şekil 28. Vücudun ısıtılması veya soğutulması için kullanılan cihaz.	22
Şekil 29. Yüz cerrahisi ve göğüs ameliyatı sonrası iyileşme için kullanılan cihaz.	23
Şekil 30. Kafa soğutma cihazı.....	23
Şekil 31. Kan akışını kısıtlama ve baş bölgesini soğutma cihazı.....	24
Şekil 32. Vücut sıcaklığını kontrol etmek için kullanılan cihaz.....	24
Şekil 33. Kafa bölgesini soğutma için kullanılan cihaz.	25

Şekil 34. Tıbbi olarak kafa bölgesini soğutma cihazı.	25
Şekil 35. Saç derisi soğutması için tasarlanmış termoelektrik başlık modeli görüntüsü.	26
Şekil 36. Soğutma makinesi temel elemanları.	29
Şekil 37. Q_L ısısını çeken bir soğutma makinesi çalışma prensibi.	30
Şekil 38: Farklı desenlere sahip ve farklı boyutlardaki plaka örnekleri	32
Şekil 39. Contalı plakalı ısı değiştirici	33
Şekil 40. Ayrıntılı contalı plakalı ısı değiştirici.	34
Şekil 41. Lehimli bakır plakalı ısı değiştirici	35
Şekil 42. İki farklı açığa sahip balık kılçığı tipinde plaka.....	35
Şekil 43 Plakalı eşanjörün yapısı.	36
Şekil 44. Deney düzeneğinde kullanılan zıt akışlı eşanjör.....	37
Şekil 45. Aynı yönlü akışlı eşanjör	38
Şekil 46. Deney sisteminin genel görüntüsü.	39
Şekil 47. a) Çapraz bant geometrisi, b) Uzun bant geometrisi c) Kısa bant geometrisi.....	40
Şekil 48. Su pompası ve şeffaf boru.....	40
Şekil 49. Boyun bölgesi kan debisi miktarı ayarlama vanası ve deney sisteminde görünümü.	41
Şekil 50. Boyun bölgesi kontrol hacmi görüntüsü.	41
Şekil 51. Deney sistemine bağlı termokopullar.	42
Şekil 52. Deney sisteminde kullanılan antifriz.....	42
Şekil 53. Deney sistemi şeması.	43
Şekil 54. Everest ultrasonik clean-ex-N1211 sıcak su banyosu.	44
Şekil 55. Lzs-15 debi ölçer.....	44
Şekil 56. Deney sisteminde kullanılan kompresör.	45
Şekil 57. Evaporatör olarak seçilen bakır plakalı ısı değiştirici.	46
Şekil 58. Kondenser olarak seçilen bakır plakalı ısı değiştirici.	46
Şekil 59. Deney sisteminde genişleme elemanı olarak kullanılan kılcal boru.	46
Şekil 60. Gözetleme camı.....	47
Şekil 61. Ara vana.	47
Şekil 62. Drayer.....	47
Şekil 63. Analog manifold.	48
Şekil 64. Basınç ölçüm saati.....	48
Şekil 65. R134-a Soğutucu akışkan.....	50
Şekil 66. Hassas terazi.....	50
Şekil 67. Bakır boru.	51

Şekil 68. Bakır boru kesme aletleri.	52
Şekil 69. Bakır boru havşa ve muf açma seti.	52
Şekil 70. Bakır boruya havşa açma işlemi.	53
Şekil 71. Bakır borulara muf açma işlemi.	53
Şekil 72. Bakır boru bükme yayı (a), bükme pensi (b), dolgu silikon (c), kollu bükme aleti (d).	54
Şekil 73. Boruların lehim ile birleştirilmesi.	55
Şekil 74. Deney sisteminde kullanılan su sirkülasyon pompası.	55
Şekil 75. Veri kaydedici.	56
Şekil 76. Veri kaydedici.	57
Şekil 77. Pareto Grafiği.	63
Şekil 78. Kalıntı Grafiği.	64
Şekil 79. Pareto COP etkinlik katsayısı.	65
Şekil 80. Kalıntı Grafiği.	65
Şekil 81. Optimizasyon grafiği.	66

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

T	Sıcaklık [$^{\circ}\text{C}$]
ΔT	Sıcaklık Farkı [$^{\circ}\text{C}$]
$\dot{m}$	Kütleli Debi [kg/s]
$m_{\dot{c}}$	Çıkan Kütle Debisi [kg/s]
m_g	Giren Kütle Debisi [kg/s]
t	Zaman [s]
h	Entalpi (kj /kg)
η	Verim
ρ	Yoğunluk [kg/m ³]
T_L	Soğutulan Ortam Sıcaklığı
$\dot{Q}_L$	Soğutulan Ortamdan Çekilen Isı Miktarı
$\dot{Q}_H$	Ortama Verilen Isı
W_{net}	Net İş Girişi
KE	Kinetik Enerji
PE	Potansiyel Enerji
ΔE_{KE}	Kinetik Enerji Değişimi
ΔE_{PE}	Potansiyel Enerji Değişimi
g	Yerçekimi İvmesi
z	Yükseklik
ϑ	Hız
c_p	Özgöl ısı kapasitesi (J /(kg* K)

Kısaltmalar

GSMH	Gayri Safi Milli Hâsıla
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
TL	Türk Lirası
PUBMED	Ücretsiz Bir Biyomedikal Veri tabanı
SM	Soğutma makinesi
COP	Coefficient of performance

GİRİŞ

İnsanların refah içerisinde yaşayabilmeleri için her türlü ihtiyacını karşılamaya dayalı yol, köprü, bina gibi bayındırlık; tarım, beslenme gibi gıda; fizik, kimya, biyoloji, elektrik, elektronik gibi fen; uçak, otomobil, motor, iş makineleri gibi teknik ve sosyal alanlarda uzmanlaşmış, belli bir eğitim görmüş kişilere mühendis denilmektedir. Türk Dil Kurumu'nda mühendis teknik, matematiksel ve sosyal veriler ışığında insanların kullanımına yönelik yeni sistemler üretme ve geliştirme ile sorumlu kişilerdir. Mühendislik, biyoloji ve bilişim bilimleri gibi tekil bilim dalları birbirleri ile daha fazla iç içe geçerek yeni bilimler ve araştırma alanları ortaya çıkarmıştır. Tıp bilişimi de bu alanlardan biridir. Bu alan bilişim teknolojilerinin tıp alanında uygulanması olarak tanımlanmaktadır. Tıp alanındaki gelişmelerin ortaya çıkardığı bilgi ve verilerin oluşturulması, biçimlendirilmesi, paylaşılması ve sonuçta hastaların bakım ve tedavilerinin belirlenmesi, seçilmesi ve geliştirilmesini hedef almaktadır. Yani tıp bilişimi, hasta hakkında düşünme yöntemleri ve tedavilerin tanımlanma, seçilme ve geliştirilme yolları üzerine bir çalışmadır. Tıp bilişimi bilişim teknolojilerinin hızlı gelişiminden güç alırken tıptaki baş döndürücü gelişmeler ve sağlık hizmetlerindeki çözümü zor sorunların zorunlu kıldığı bir disiplin olmuştur. Sağlık hizmetlerindeki bu bilimsel gelişmeler disiplinler arası çalışmayı zorunlu hale getirmiştir. Cihazlara, bilgi teknolojilerinin kullanımına büyük bir gereksinim ve talep doğmaktadır. Buna paralel olarak sağlık bilimlerindeki sorunları gidermek bu birlikteliği zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda Tıp alanında kullanılan ölçüm ve görüntüleme hasta takip yöntemleri, test, analiz cihazları hızla gelişmekte ve sayısı artmakta, aynı şekilde tıp bilgisi de gün geçtikçe zenginleşmekte ve artmaktadır. Tıp alanındaki bu gelişmeler ve artan bilginin sonucu olarak sağlıkla ilgili sorunların bakım ve tedavi bedelleri her yıl artmakta, hatta sağlık harcamaları ekonomik harcamaların hızla büyüyen bir kısmını oluşturmaktadır. Türkiye'de 2017 yılında kamu ve özel sektörde toplam sağlık harcamaları, 140 milyar 647 milyon TL olarak gerçekleşmiştir, bunun gayri safi milli hâsıla (GSMH) içindeki payı ise %4,5'tir. 2018 yılında (TUİK verilerine göre) toplam sağlık harcaması 165 milyar 234 milyon TL'dir. Aynı zamanda 2019 toplam sağlık harcaması 201 milyar 31 milyon TL olarak gerçekleşmiştir. Toplam sağlık harcaması 2019 yılında bir önceki yıla göre %21,7 artarak 201 milyar 31 milyon TL'ye yükselmiştir. Genel devlet sağlık harcaması %22,5 artarak 156 milyar 819 milyon TL'ye ulaşmıştır. Özel sektör sağlık harcaması ise %18,8'lik bir artış oranı ile 44 milyar 212 milyon TL olarak tahmin edilmiştir. Ülkemizde sağlık sektöründe gerek duyulan medikal ürünler, tıbbi cihazlar vb. ürünlerin çoğu ithal edilmektedir. 11. Kalkınma Planında da bahsedildiği gibi

“Makine ve elektrikli teçhizat sektörlerinde rekabetçi ve verimli yerli üretim alt yapısının geliştirilerek küresel pazardaki rekabet gücümüzü artırmak ve değer zincirinde ülkemizi daha üst konuma taşımak temel amaçtır”. (11. Kalkınma Planı) Bu çalışma konusunda merkezi sinir sistemini korumak için hipotermi oluşturmaya yönelik yapılan literatür incelemesinde santral sinir sisteminin korunması konusu güncelliğini korumakta olduğu gibi, bu çerçevede yapılan çalışmalar da kümülatif olarak her geçen yıl artmaktadır. Gerek ani kalp durması sonucu hayata geri döndürülen gerekse ameliyat esnasında santral sinir sistemi ve diğer hayati organların fonksiyonlarının korunması için pratik tedavi uygulamalarında kullanılan tedavi yöntemleri bulunmaktadır. Bu süreçte santral sinir sisteminin fonksiyonlarının korunmasında (kalp durması sonrası yeniden hayata döndürülen hastalar, beyin travması veya beyin ameliyatı uygulanacak olan hastalar, büyük damar ve kalp kapak ameliyatı geçiren hastalar, oksijen yetersizliğine bağlı gelişen beyin ödemi olan hastalar gibi özellikli ve hayatı tehdit edici durumlardan bahsedilmektedir) etkin bir yöntem olarak tanımlanan hipotermi diğer organlar için zararlı olabilir. Hayati fonksiyonlarımızın devamında çok önemli bir organ olan beyin fonksiyonlarını korurken aynı zamanda diğer organların korunmasının da önemi üzerine çok sayıda bilimsel çalışmalar yapılmıştır. Bu tez çalışması ile santral sinir sistemini hipotermi ile koruyan bir soğutma makinesi tasarlanmıştır. Tasarımı yapılan bu cihaz ile amaçlanan yerli ve milli bir cihaz üretilerek dışa bağımlılığı azaltmaktır. Ek olarak bu cihaz ile bütün yoğun bakımı olan eğitim araştırma hastanelerinde, kalp krizi geçiren ve geri döndürülen hastalarda, beyin ameliyatlarında, ameliyat sonrası yoğun bakımlarda, aort anevrizma rüptürü nedeniyle kalp damar kliniği tarafından ameliyat edilen hastalarda çok geniş kullanım alanı sunulmuş olacaktır.

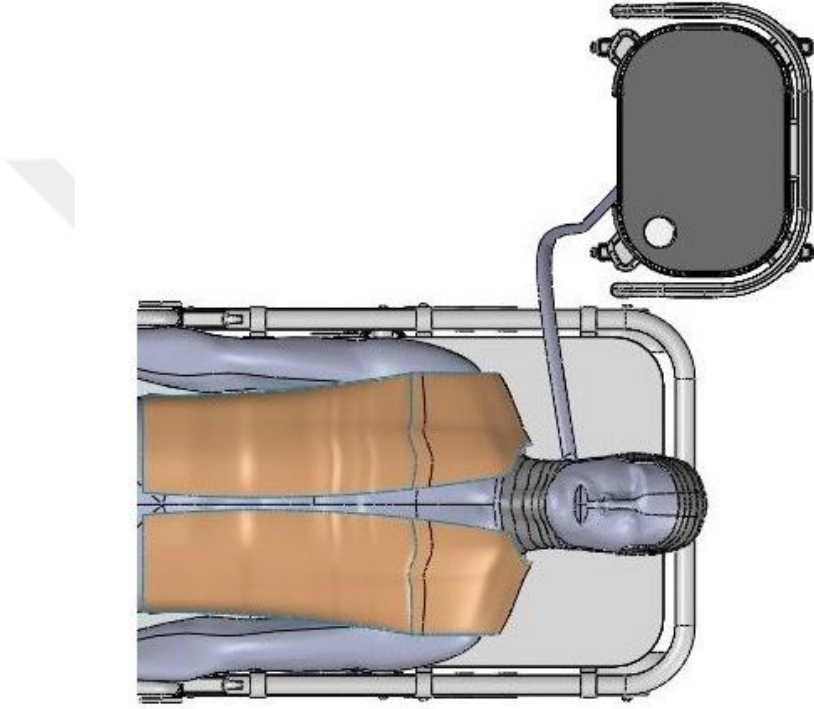
Ulusal Kazanım Açısından Önemi

Tasarlanan cihaz ile beyin bölgesi soğutulurken, baş kısmının korunması sağlanacağı için beyin fonksiyonları daha sağlıklı olacaktır. Ulusal kazanım açısından bu cihaz:

1. Ülkenin bilimsel ve teknolojik araştırma gücüne (araştırma altyapısına, bilim insanı yetiştirilmesi, geliştirilmesi ve istihdamı ve yeni ve kritik yetenekler kazanılmasına) önemli katkı sağlayacak niteliktedir.
2. Kuramsal/metodolojik olarak var olan paradigmaların dışında, yeni araştırma alanları açıcı, evrensel, bilimsel katkısı bakımından ufuk açıcı niteliktedir.
3. Uluslararası alanda Türkiye'nin öncü rol oynamasına yardımcı olabilecek / ender çalışılan alanlarda söz sahibi olunmasına yol açabilecek / milli ürünlerini evrensel boyutlara ulaştıracak / tanıtacak niteliktedir.

Dışa bağımlılıktan ziyade özgün bir değer olarak geliştirilen Şekil 1’de verilen bu ürün

şu anda tıp klinik pratiğinde mevcut değildir. Mevcut fikir için eş zamanlı olarak Atatürk Üniversitesi'nin Patent Merkezine başvuru yapılmış ve üniversiteden PT2021-01140 numaralı patent için destek alınmıştır. Hem yurt içinde hem de yurt dışında kullanılma imkânı bulabilecek olan bu cihaz için çok geniş bir pazar payı olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca ülkemizde tasarlanan bu cihaz ile maliyet açısından bir kıyaslama tam olarak yapılamamaktadır. Soğutma cihazları bulunduğu ortamda (ameliyathane ve yoğun bakım gibi cihaz yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde) daha az yer kaplayacaktır. Klinik, teknoloji ergonomi ve maliyet açısından avantajlı olacaktır.



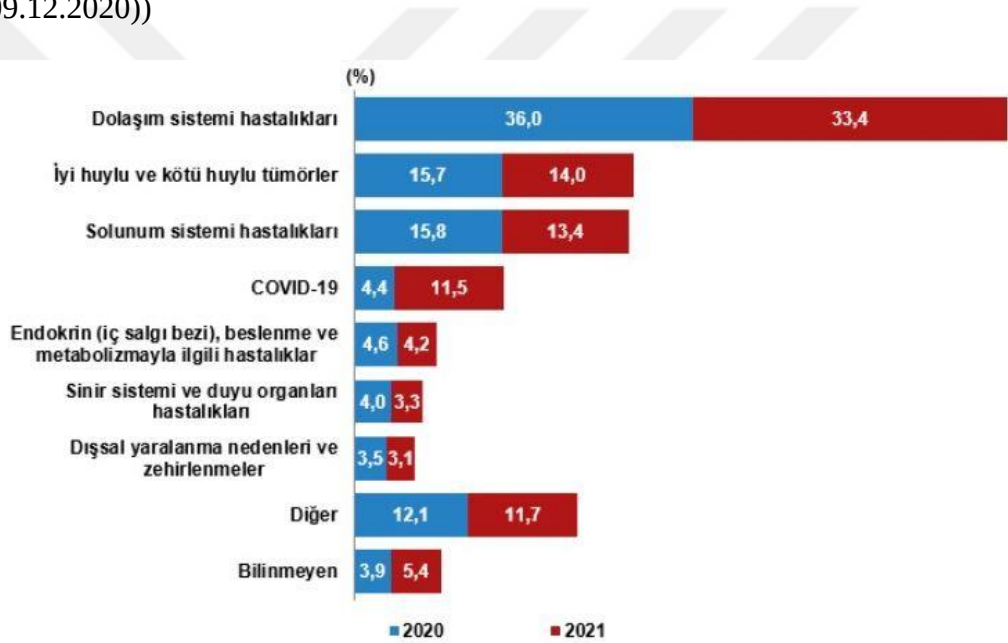
Şekil 1. Soğutma yapan cihaz modeli.

Örneğin beyin ameliyatı sonrasında yoğun bakımda hastalarda beyne giden kanın soğuması ile nörolojik fonksiyonların korunması amaçlanırken diğer organlara giden kanın normal ısıda tutulması ile gelişebilecek komplikasyonlar (istenmeyen etkiler) azaltılabilir. Dolaşım sisteminin önemini TUIK verileri ile Şekil 2’de görüldüğü gibi ifade etmek daha doğru olacaktır. Ölüm nedenleri arasında dolaşım sistemi kaynaklı hastalıklar ilk sırada yer almaktadır. Ölümler nedenlerine göre incelendiğinde, 2019 yılında %36,8 ile dolaşım sistemi hastalıkları ilk sırada yer alırken bu ölüm nedenini %18,4 ile iyi ve kötü huylu tümörler, %12,9 ile solunum sistemi hastalıkları izlemektedir.



Şekil 2. Nedenlere göre ölüm oranı, 2018, 2019

(Grafikteki rakamlar, yuvarlamadan dolayı toplamı vermeyebilir. (TUİK Son erişim tarihi: 09.12.2020))



Şekil 3. Nedenlere göre ölüm oranı, 2020, 2021

(Grafikteki rakamlar, yuvarlamadan dolayı toplamı vermeyebilir (TUİK Son erişim tarihi: 11.12.2022))

Literatür Araştırmaları

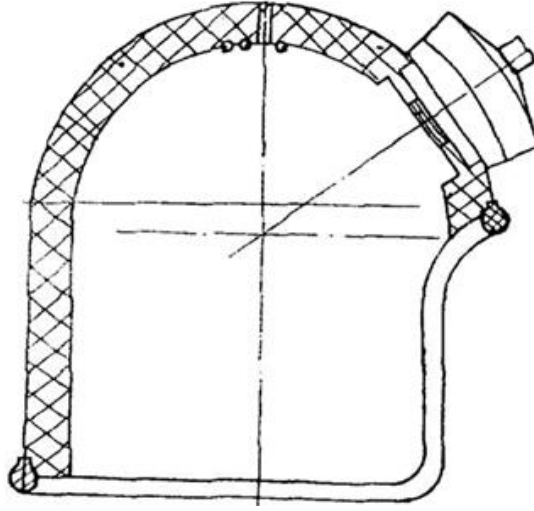
Pürüzsüz ve çukurlu tüplerde buharlaşma sırasında R-134a'nın ısı transferi ve basınç düşme karakteristikleri deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan tüm test bölümleri, bir halka içindeki sıcak suyun sıcaklığını iç borudaki R-134a'ya aktardığı çift borulu ısı eşanjörleridir. Deneyler 300-500kg / m² kütle debi akı aralığında, 20-30kW / m² ısı akı aralığında ve 7-13°C buharlaşma sıcaklık aralığında gerçekleştirilmiştir. 1500mm uzunluğunda ve 8.1mm iç çaplı pürüzsüz ve çukurlu borular test edilmiştir. Sonuçlar, çukurlu borulara sahip

borunun, düz borunun üzerinde% 587'ye kadar bir basınç düşmesi artışı ile birlikte ısı transferini% 70'e kadar arttırdığını göstermektedir (Aroonrat et al., 2019).

Bir mikro-kanatlı helisel sarmal tüp içindeki R-134a'nın yoğuşma ısı transfer katsayıları ve sürtünme basıncı düşüşleri, kabuğun içinde ters akış yönünde akan soğutma suyu ile deneysel olarak araştırılmıştır. İç borular bir düz boru ve bakırdan yapılmış bir mikro-fin sarmal borudan oluşmuştur. Deneysel ölçümler 75, 115, 156 ve 191kgm⁻²s⁻¹ kütle akışlarında ve 35° C ve 45 ° C doyma sıcaklıklarında gerçekleştirilmiştir. Ek olarak, bir mikro-kanatlı helisel sarmal tüpün deneysel verileri kütle akışına karşı buhar kalitesi akış haritası ve Taitel ve Dukler akış haritası üzerine çizilmiştir. Mikro-kanatlı helisel sarmal tüp içindeki farklı akış rejimleri arasındaki geçişler de tartışılmıştır. Ayrıca kütle akışı, buhar kalitesi ve R-134a'nın doyma sıcaklığının ısı transfer katsayıları ve basınç düşüşleri üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Pürüzsüz düz tüp ve mikro-fin sarmal sarmal tüp arasındaki karşılaştırmalar da tartışılmıştır. Deneysel sonuçlar, mikro-kanatlı sarmal sarmal borunun, düz düz tüpe kıyasla daha yüksek bir ısı transfer katsayısı ve bir sürtünme basıncı düşüşü ürettiğini göstermiştir. Yeni korelasyonlar, mikro-kanatlı helisel bobin tüpü içindeki R-134a'nın yoğunlaşması sırasında Nusselt sayısını ve sürtünme basıncı düşüş çarpanını tahmin etmek için önerilmiştir (Solanki & Kumar, 2018).

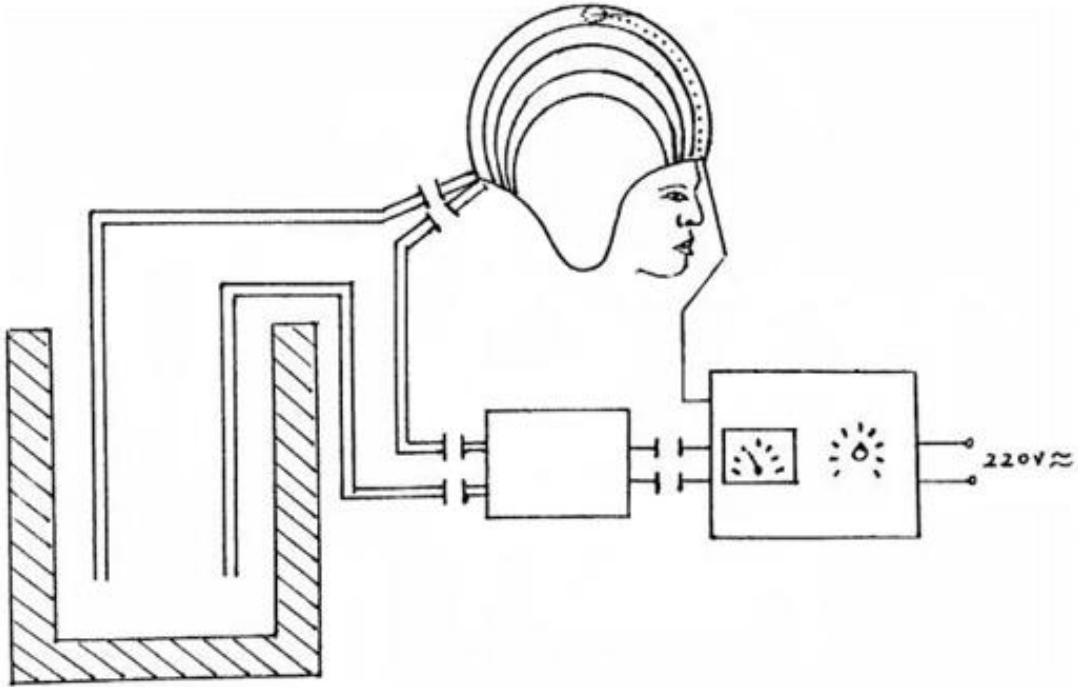
Buharlaştırıcı tipi ve geometrisi, kılcal boru çapı ve kılcal uzunluğun, baypas iki devre çevrimindeki soğutma sistemi performansı ve enerji tüketimi üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde, 500 L üste monte dondurucu buzdolabının taze gıda bölmesinde tüp üzerindeki tel ve kanatlı tüp buharlaştırıcıları kullanılmıştır. 0.66 mm ve 0.8 mm kılcal boru çapları ve 3000 mm ve 3500 mm kılcal boru uzunlukları diğer tasarım parametreleri olarak seçilmiştir. Deneylerde 0.66 mm kılcal boru çapı ve 3500 mm kılcal boru uzunluğu ile optimum soğutma performansı ve en düşük enerji tüketimi sağlanmıştır (Tosun & Tosun, 2020).

Beyin koruması ve beyin anabiyozu (hastanın geçici ölümü) için kullanılan aylma işlevine sahip elektronik kapağı olan bir elektronik buz kapağı tasarımıdır. Elektronik buz kapağı, bir iç mahfaza, bir dış mahfaza, bir ısı yalıtım tabakası, bir radyatör, bir radyatör metal kapağı, bir hava kılavuz kanalı, takılı bir şerit, bir güç devresi, bir soğutucu akışkan devresi, bir sıcaklık kontrol devresi ve bir sıcaklık ölçüm devresinden oluşmuştur. Elektronik buz kapağının özelliği, bir kapak gövdesine monte edilen soğutucu akışkan devresinin bir yarı iletken buzdolabının soğutulması ve sıcaklık kontrol devresinin bir termistörünün buz başlığının sıcaklığını düzenlemesidir. Sıcaklığı otomatik olarak düzenleyebilir, görüntüleyebilir ve aylma işlevine sahip mevcut ideal bir elektronik kapaktır (Anonim 2023a).



Şekil 4. Beyin koruması ve beyin anabiyozu için kullanılan ayılma işlevine sahip cihaz.

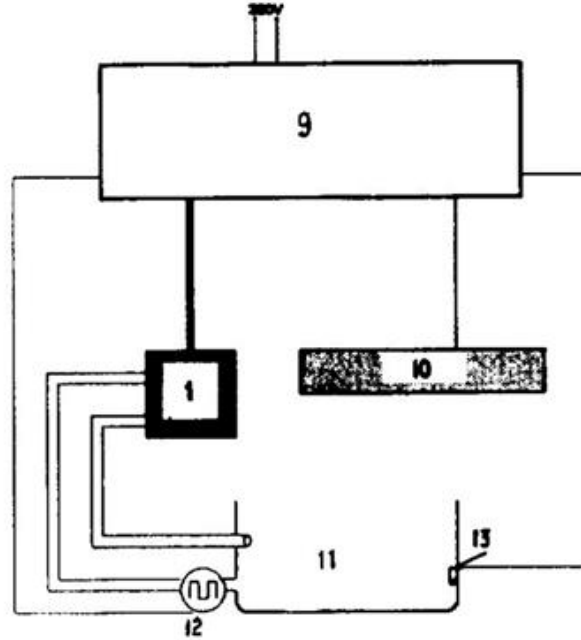
Isı yalıtım özelliğine sahip bir buzlu su kabından buz suyunun, su kanalı ile başlığın içinden dolaştırılması için elektromanyetik su pompasını kullanılmıştır. Elektromanyetik su pompası pompalama suyu sıcaklık kontrolörü tarafından otomatik olarak kontrol edilmiş, bu da kafa sıcaklığının belirli bir ölçekte otomatik olarak kontrol edilmesine yol açmıştır. İlaça bağlı ciddi kellikleri önlemek için tümörlü hastalar üzerinde kimyasal tedavi için kullanılabilen ve yüksek sıcaklıkta hasta başını soğutmak için kullanılabilen bu cihaz, beyin hücrelerini koruma etkisine sahiptir (Anonim 2023b).



Şekil 5. Beyin hücrelerini koruma etkisine sahip cihaz.

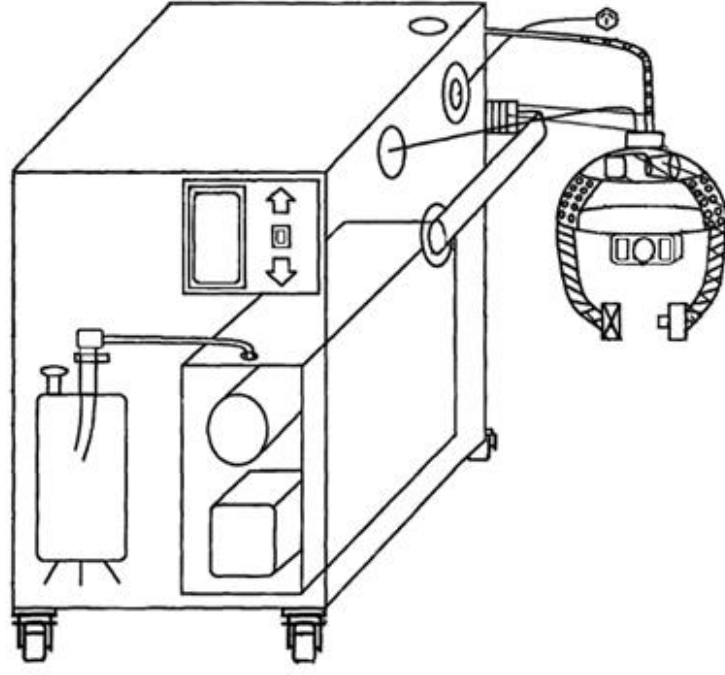
CN2251987Y patent numaralı çalışma bir soğutma cihazıdır. Bir su soğutma dairesel cihazı, bir uzuv ısı yalıtım cihazı ve bir kontrol bilgisayarından oluşan bir serebral sirkülasyon

sistemi için yerel bir soğutma cihazı ile ilgilidir. Serebral kan dolaşım sistemini soğutmak için soğutma cihazını kullanır ve bu sayede bir insan vücudu için ısı yalıtımı veya sıcaklık artışı gerçekleştirilir. Böylece beyin dokularının lokal soğuması gerçekleştirilebilir. Serebral yaralanma hastalarını kurtarmak ve tedavi etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Anonim 2023c).



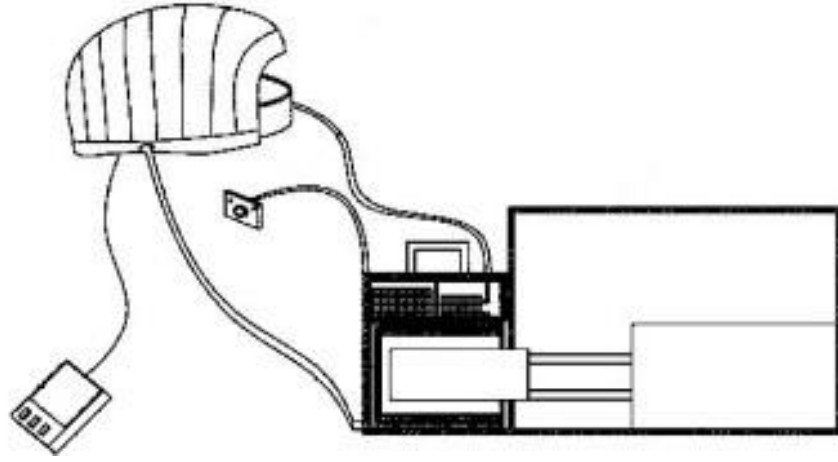
Şekil 6. Beyin dokularının lokal soğutma cihazı.

Pediatric bölümünün vücut sıcaklığının saptanması için kullanılan bir soğutma cihazıdır. Bir ana gövde, bir fiziksel soğutma cihazı ve bir akış kontrol cihazı içerir; burada ana gövdenin ön tarafında bir ekran işletim konsolu bulunmaktadır. Bilgi ekranı, bilgi görüntüleme ekranı, bir sıcaklık ayarlama tuşu, bir güç kaynağı tuşu ve bir frekans ayarlama tuşu da mevcuttur. Soğutma cihazı, tüm fonksiyonların yerine getirilmesi ve kullanım kolaylığının gerçekleştirilmesi avantajlarına sahiptir. Bu cihaz sayesinde sağlık çalışanlarının emek yoğunluğu azaltılır, güvenlik sağlanır, verimlilik artar ve sağlık personelinin çalışma süresinin büyük ölçüde azalmasına yardımcı olmaktadır (Anonim 2023ç).



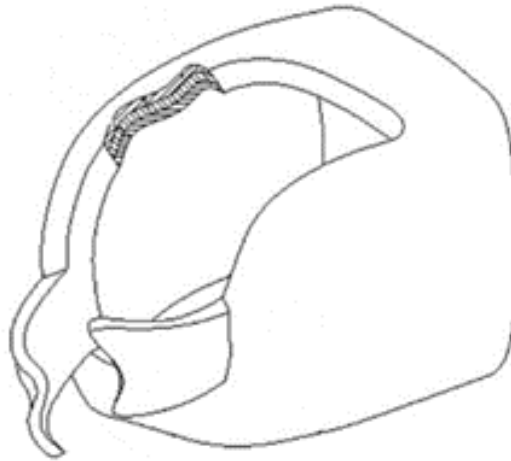
Şekil 7. Pediatri bölümündeki hastaların vücut sıcaklığının saptanması için soğutma cihazı.

Acil tedavi için bir kafa soğutma ve izleme cihazı tasarlanmıştır. Acil tedavi için kafa soğutma ve izleme cihazı, bir soğutma kafası kovanı, bir sıcaklık izleme mekanizması, bir ısı değişim mekanizması ve bir soğutma mekanizması içermektedir. Soğutma işlemi, yalnızca bir tıbbi çalışan tarafından hastanın başına soğutma kafası kovanının takılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Sıcaklık izleme mekanizması hastanın başına yapıştırılır. Hastanın kafasının sıcaklığını gerçek zamanlı olarak izler ve böylece tıbbi çalışan gerekli acil hemşirelik önlemleri zamanında alınmaktadır. Kafa değiştirme mekanizması, soğutma kafası kovanına, ısı değiştirme mekanizmasının minyatür bir su pompası vasıtasıyla bağlanır. Soğutma kafası kovanındaki soğutma ortamı dolaşmaya yönlendirilir. Soğutma kafası kovanındaki soğutma ortamı bir ısı değişim tüpünden geçer ve ısı değişimini gerçekleştirmek için ısı değişim mekanizmasının soğutma kafası kovanındaki soğutma ortamı zaman içinde soğutulabilir. Soğutma ortamının sıcaklığı kontrol edilebilir ve soğutma kafası kovanının sürekli kullanım güvenilirliği artırılır (Anonim 2023d).



Şekil 8. Acil tedavi için soğutma cihazı.

Tıbbi bir soğutma buz kapağıdır. Buz başlığı, bir kapak gövdesi içermektedir. Kapak gövdesinde, sırayla dışarıdan içeriye bir termal yalıtım tabakası, bir soğutma tabakası ve bir astar tabakası bulunmaktadır. Isı yalıtım tabakası, soğutma tabakası ve astar tabakası esnek bir malzemeden yapılmıştır. Esnek germe parçaları, başlık gövdesinin boynunun iki yanında düzenlenmiştir. Kapak gövdesi üzerinde bir sıcaklık ölçüm sistemi oluşturulmuştur. Buz başlığı kapak gövdesinin esnek malzemeden yapılmasının avantajları vardır, böylece soğutma katmanı başın yüzeyi ile iyi temas ettirilir ve bir soğutma etkisi optimaldir. Sıcaklık ölçüm sistemi, başın yüzeyinin sıcaklığını ve beyindeki sıcaklığı ölçebilir. Astar tabakası, soğutma tabakası ve kafanın yüzeyi arasında bir koruma etkisine sahiptir. Germe parçaları boyunda çalışan büyük damarların sıcaklığını azaltabilir, böylece beyindeki sıcaklık azalır ve soğutma desteklenir (Anonim 2023e).

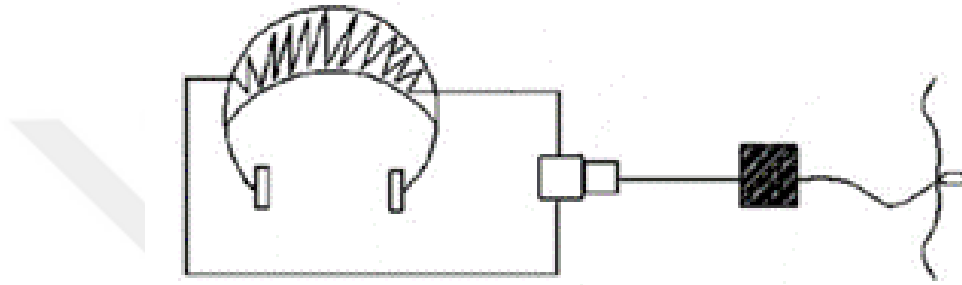


Şekil 9. Tıbbi soğutma buz kapağı.

Bir kafa soğutma cihazıdır. Bir ark ısı iletim kapağı içermektedir. Isı iletim kapağının iki ucu sabitleme kelepçelerine bağlanmıştır. Soğutma boruları, ısı iletim kapağının iç kısmında düzenlenmiştir. Soğutma boruları, W şeklinde seri bağlantılıdır. Soğutma borularının su

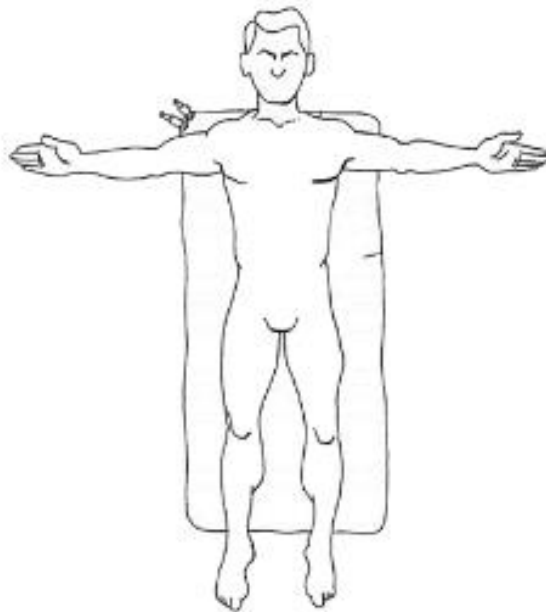
girişleri, bir su giriş boru hattı yoluyla bir çevrim suyu pompasına bağlanmıştır. Soğutma borularının su çıkışları, bir su çıkış boru hattı yoluyla çevrim suyu pompasının su giriş ucuna bağlanmaktadır. Çevrim su pompası bir kontrolöre bağlanmıştır. Kontrolör bir vücut sıcaklığı sensörüne bağlanarak çalışmaktadır. Vücut sıcaklığı sensörü bir sabitleme kayışı ile donatılmıştır. Cihaz, yapısı basit operasyonda uygun ve soğutma etkilerinde belirgin olma özelliklerine sahiptir.

Teknik alan: Özellikle otomatik kontrol cihazının kafasını soğutmakta olan nöroşirürji bel fıtığı başta olmak üzere her türlü omurga hastalıklarının, kafa ve omurilik yaralanmalarının, tedavisi için kullanılan bir tıbbi ürünle ilgilidir (Anonim 2023f).



Şekil 10. Kafa soğutma cihazı.

Mevcut buluş, bir hastanın sıcaklığını kontrol etmek için bir ısı transfer sistemi ile ilgilidir. Kullanılan cihaz gövdeyi ve / veya bacakları kolları, kalçaları, diz ve / veya başını açıkta bırakan ve çeşitli vücut parçalarının aynı veya farklı hızlarda seçici olarak ısıtılmasına izin veren ısı transfer battaniyeleri ile ilgilidir (Anonim 2023g).



Şekil 11. Hasta sıcaklığı kontrol battaniyesi.

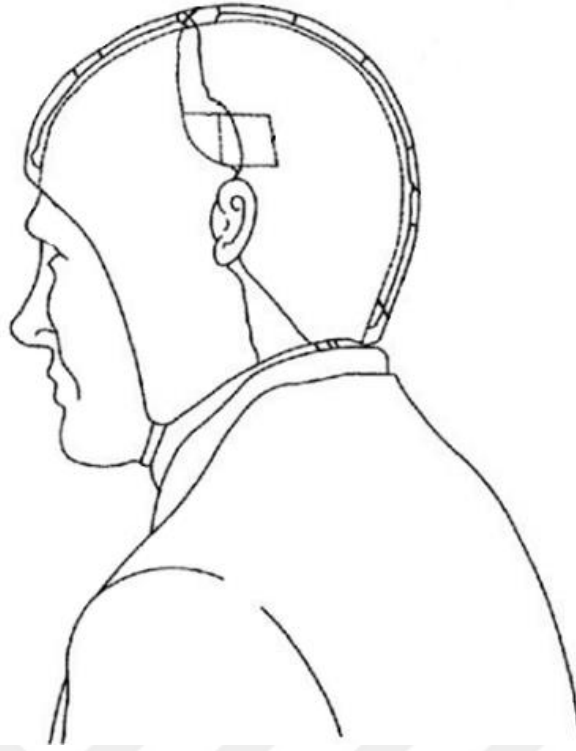
Mevcut buluş, sitostatik tedavisi gören bir kişinin başına yerleştirilecek bir kafa

soğutucu cihazdır. Hastanın kafasına kafa soğutucunun yerleştirilmesiyle sağlanır. Kafa soğutucu bir hastanın kafasına yerleştirilecek bir termal değiştirme kapağı ve bir dış yalıtım kapağı içermektedir. Kapak, kafanın soğutulması için bahsedilen kafaya uygulanacak bir iç ısı değişim yüzeyi oluşturan bir soğutma sıvısı için bir kanal sistemine sahiptir. Termal değiştirme kapağı, kafa soğutucunun iç yüzeyi ile kafa arasındaki şekil ve boyutta bir tutarsızlığı telafi etmek için ayarlanabilir. Kafa soğutucu ayrıca kaşların alanını soğutmak için kaş soğutucu içerebilir. Kafa soğutucu tıp alanında kullanılmaktadır. Bir hastanın saç dökölmesini önlemeye yönelik bir yöntemdir (Anonim 2023ę).



şekil 12. Vücudun baş bölgesini soğutma cihazı.

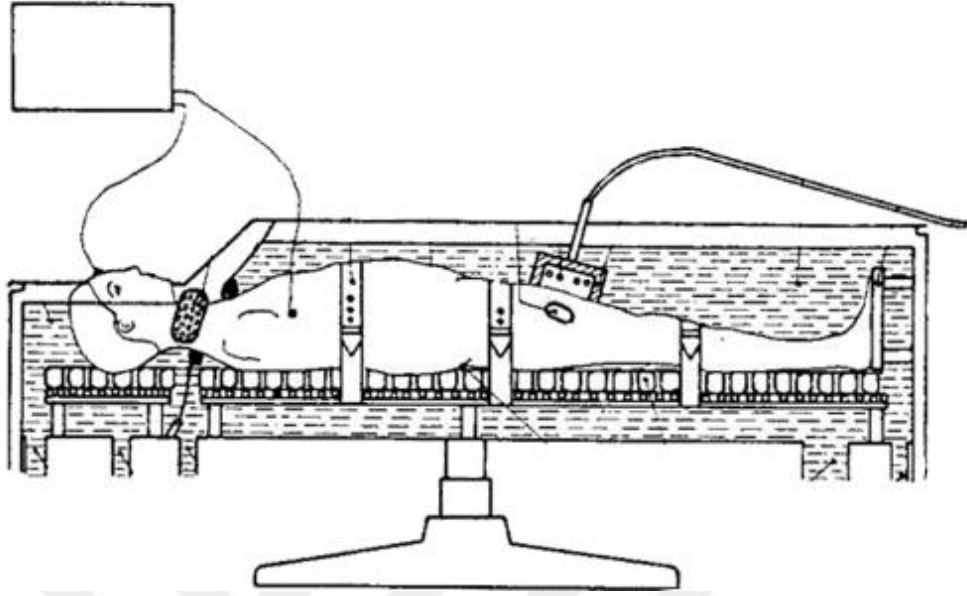
Kafa travmasının tedavisi için kullanılan bir cihazdır. Soğutma ortamı, kafa travması geçiren yaralı kişilerin iyileşmesine ve sağlığına kavuşması için uzun bir soğutma etkisine sahip bir cihazdır. Cihaz aynı zamanda baş ağrısı, migren, ısı ve / veya güneş çarpması ile birlikte felç geçiren kişiler için de tasarlanmıştır (Anonim 2023h).



Şekil 13. Kafa tranvası geçiren hasta baş soğutma cihazı

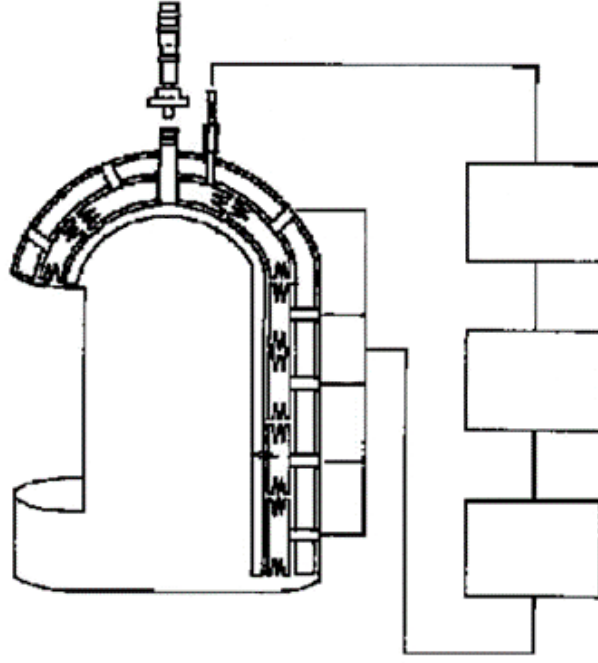
Hipotermik tedavi için sıcak su banyosu 41- 42°C tüm vücut sıcaklığında yatay olarak yerleştirilirken insanların aşırı hipotermik tedavisi için kullanılan bir cihazdır. Hastanın boynunu çevreleyen bir bölme duvarı olan çift bölmeli bir su banyosu içermektedir. Böylece vücut baş ve boyun daldırılmamışken tamamen sıcak suya daldırılabilir veya kısmen soğuk suya daldırılabilir. Banyo da hastanın üzerindeki tümörün lokal ısınması için su geçirmez dalgıç ısıtma araçlarına sahiptir. 44 °C lokal sıcaklığı ölçmek için tümör bölgesinin dokusuna yerleştirilmek için en az bir prob ve hastanın kalp hareketini ve kan dolaşımını denetlemek için izleme araçları mevcuttur. Cihaz, bir kaldırma krikosu üzerine monte edilmiş bir banyo, kayışlar ile sabitlenmiştir. Delikli dolgu ile kaplanmış bir ızgara üzerinde uzanmaktadır; ızgara tercihen banyo içinde yükselebilmektedir. Vücut ve kafa için iki bölme bulunmaktadır. Hastanın boynuna elastik olarak dayanabilen hastanın banyodan hızla çıkarılabilmesi için çıkarılabilir; ayarlanabilir ayak dayanağı da mevcuttur. Ayak dayanağı hastayı bölme duvarına doğru itmektir. İki haznenin her biri bir su besleme borusu, bir tahliye borusu ve su seviyesini yönetmek için bir taşma tahliye borusuna sahiptir. Vücut bölmesinde ek bir acil hızlı boşaltma borusu vardır. Hastanın boynu bir buz paketi ile daha da soğutulabilir. Yerel ısıtma, girdap akımı bobin sistemi olan bir su geçirmez kısa dalga cihazı ile gerçekleştirilir. Sıcaklık denetimi dokuya yerleştirilen ince kanüllerde lazer kaynaklı termokupllar, rektal ve dilaltı ısı algılama cihazları ile yapılır. Kalp atımını izlemek için hastaya bir elektrokardiyotakograf bağlanmaktadır. Termometreler ve kardiyograf, banyo sıcaklığını kontrol eden otomatik bir

uyarı ve güvenlik sistemine bağlanabilir ve bir krizde, acil su tahliye borusunda otomatik olarak bir vana açmaktadır (Anonim 2023i).



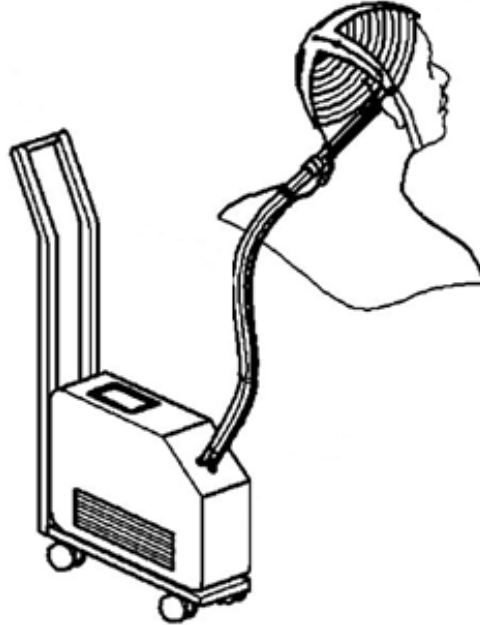
Şekil 14. Aşırı hipotermik tedavisi için kullanılan bir cihaz.

Kafa bölgesinin soğutulması için kullanılması planlanan bir cihazdır. Kafa soğutucusu, baş ve boynu çevrelemek için dış kabuklar, kafa ve boyun ile temas eden bir cihazdır. Soğuk ve ısı ortamı akış geçitlerine, presleme gövdesine sahip ısı değiştirme parçası mevcuttur. Dış kabukların iç yüzeyine monte edilmiş olan ve basınç akışkanı tedarik edildiğinde ısı değiştirme parçasını başa ve boyuna bastırmak için genişler. Presleme gövdesi, basınç sıvısı geçitleri yoluyla birbirine bağlanan çoklu torba gövdelerinden oluşur ve ilgili torba gövdelerine karşılık gelen öngörülen konumlarda basınç sensörü ile donatılmıştır. Sonuç olarak, kafanın soğutma verimliliği artar ve dış kabuklar hastanın kafasının boyutuna ve şekline uyarlanamamaktadır. Ancak soğuk ve sıcak ortam akış geçitlerine kesinlikle izin vermektedir (Anonim 2023i).



Şekil 15. Kafa bölgesini soğutmak için kullanılan bir cihaz.

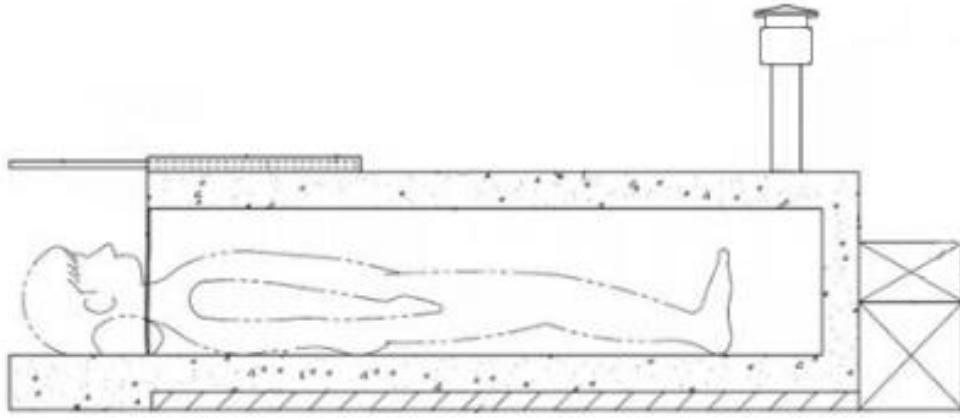
Bir kafa şekli oluşturmak için ticari olarak satılan tıbbi silikon tüp gibi bir eleman kullanılarak bir ısı değişim kapağının üretildiği bir imalat yöntemi planlanmıştır. Kafa soğutma ünitesi ve gövde kısmından oluşmaktadır. Kafa soğutma ünitesi gövdesinden kapak serbestçe takılabilir / çıkarılabilir hale getirilmiştir. Böylece, bir kişinin tedavi edilmesi için oldukça uygun bir kafa soğutma ünitesi temin edilmektedir (Anonim 2023j).



Şekil 16. Kafa soğutma ünitesi.

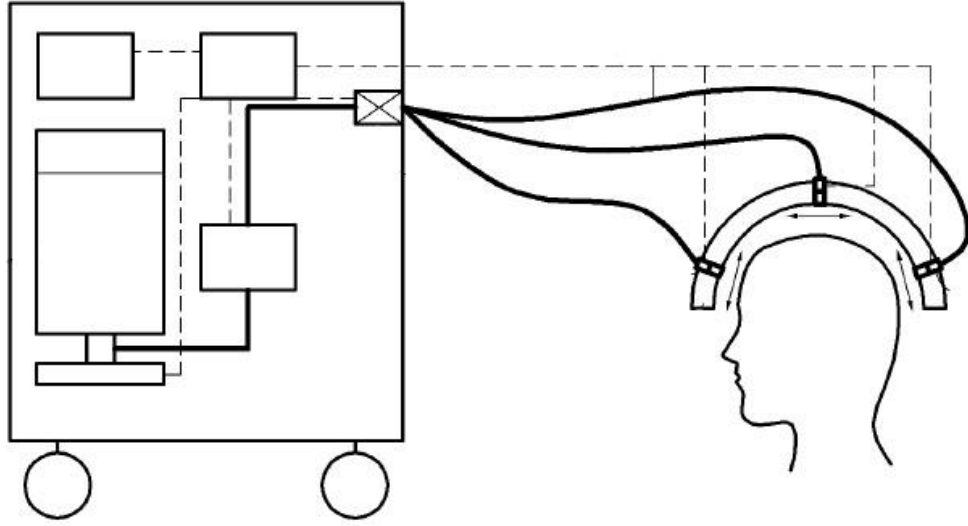
Hastanın rahat bir şekilde uzanırken diğer vücut kısımlarını sıcak bir şekilde ısıtarak, kullanıcının kan dolaşımını artırmak ve ısıtma verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için hastanın kullandığı sauna benzeri bölmedir. Kullanıcının yattığı bir kuru saunası bir alt düzlem,

bir destek düzlemi, bir çatı düzlemi ve yanları olan kısımları bulunmaktadır. Hasta alt düzlemde uzanır. Destek düzlemi, alt düzlemin arkasında dikey olarak oluşturulur. Çatı düzlemi, alt düzlemin uzunluğundan daha kısa olarak oluşturulur, böylece kullanıcının başı dışarıda kalır ve geri kalan gövde kısmı sıkıca kapatılır. Yan, alt düzlemin her iki tarafındaki çatı düzleminin her iki tarafına bağlanacak şekilde oluşturulmuştur. Çatı düzleminin ön tarafındaki dikey yön boyunca alt düzlem ile temas edecek bir perde oluşturulur ve kullanıcının boyun kısmını bir bütün olarak çevrelemiştir. Çatı düzleminin üst kısmındaki kullanıcının yüzünü bloke etmek veya açmak için bir kalkan oluşturulur. Isıtılan havayı dolaştırmak ve boşaltmak için alt düzlemde bir ısı sirkülasyon kanalı bulunur. Sirkülasyon kanalının bir tarafına egzoz borusu bağlanır. Bir ısıtma kaynağıyla ısıtmak için saunanın bir tarafında ısıtma brülörü bulunmaktadır. Böylece hastanın kan dolaşımı artırılmış ve ısıtma verimliliği en üst düzeye çıkarılmıştır (Anonim 2023k).



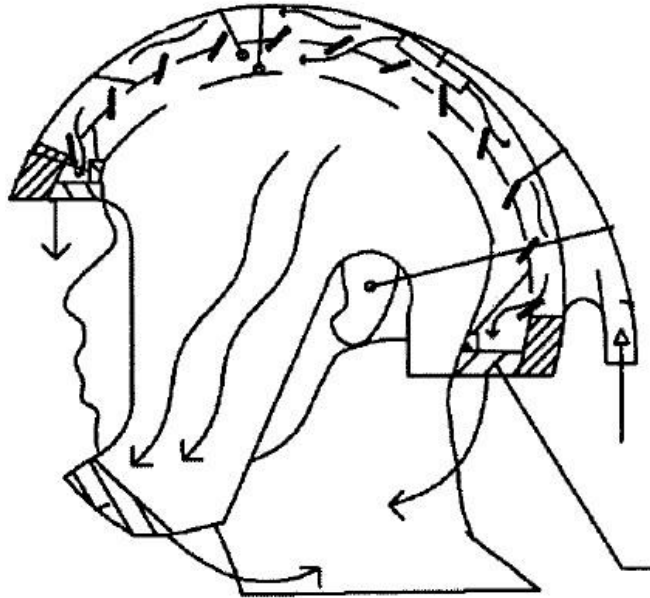
Şekil 17. Kafa bölgesi hariç tüm vücut soğutma cihazı.

Kişinin baş kısmına katı CO_2 kuru buz parçacıkları püskürtülerek beyni uyarmak için bir aparat ile ilgilidir. CO_2 kuru buz, $-78.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik düşük bir sıcaklığa sahip katı bir maddedir. Bir kişinin başına püskürtüldüğünde beynin her bir parçasında oluşan ısıyı anında serbest bırakır ve böylece kişi büyük ölçüde yenilenmiş ve uyanmış hissetmesine izin verir. Ek olarak, CO_2 kuru buz, oda sıcaklığında normal basınç altında hemen süblime edilerek karakterize edilir. Böylece herhangi bir kalıntı oluşturmaz. CO_2 kuru buzunun katı parçacıklarını kullanan beyin stimülasyon (vücutta uyarım oluşturma) cihazı içinde bir saklama kabına sahip bir ana gövde, ana gövdeye yerleştirilmiş ve saklama kabına bir boru ile bağlanmış bir açma / kapama valfi, ince kuru buz parçacıkları üretmek için bir boru ile açma / kapama valfine bağlanan bir CO_2 püskürtme nozulu mevcuttur (Anonim 2023l).



Şekil 18. Kafa bölgesini katı CO_2 kuru buz parçacıkları ile soğutma cihazı.

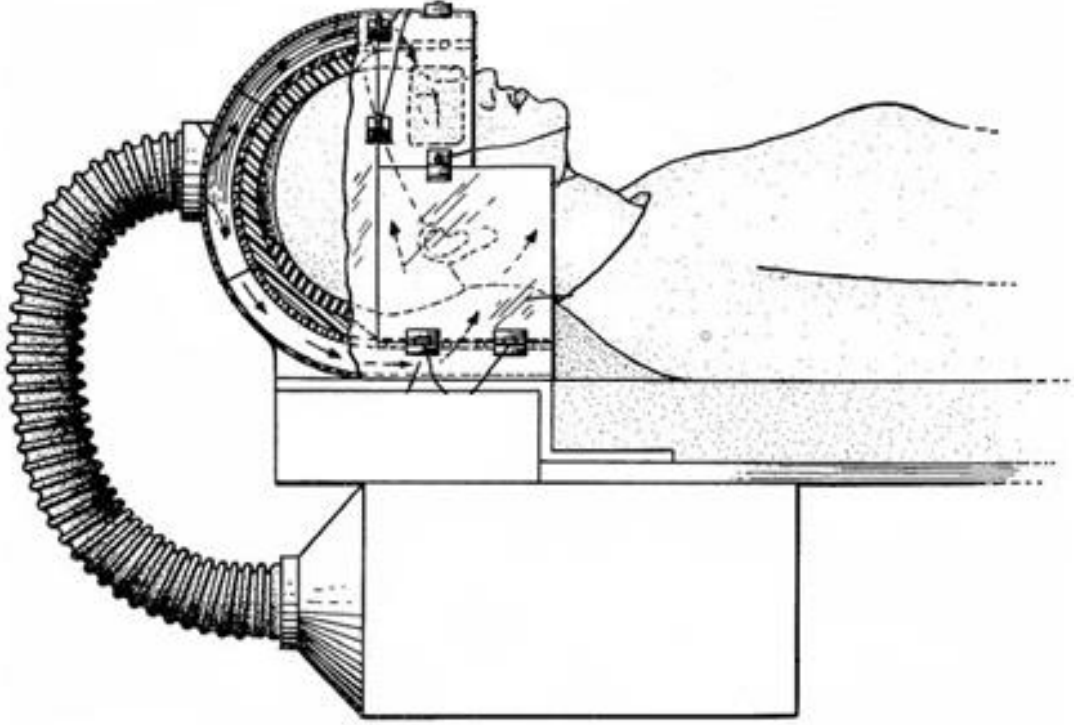
Cihaz, birbirine bağlı dış ve iç kabuklardan oluşan bir soğutma ünitesi, kontrol ünitesi, güç ünitesi, kasktan oluşmaktadır. Kask, alt çeneyi kaplayacak, kafasına sabitleyecek ve cildini soğutacak şekilde yapılandırılmıştır. Kask, soğutma biriminden iç kabuk ve kafa derisi arasında sağlanan soğutma havasının sirkülasyonu için bir boşluğa sahiptir. İç kabuk, cilt bölgelerindeki dağılımı için toplam soğutma havası akışını eşit olarak böler ve bu alanlarda soğutma havası akış bölücülerle donatılmıştır. Buluş uygulaması, yoğunluğun artırılmasına ve ısı dağılımının homojenliğinin sağlanmasına izin vermektedir (Anonim 2023m).



Şekil 19. Kafa bölgesini soğutma maski.

Plastik cerrahide şişmeyi önleyebilmek adına soğuk havayı yaralı dokulara yönlendirmek için yüze veya vücudun diğer bölgelerine bir soğutma odası yerleştirilmektedir. Cihaz, baş veya gövde kısmını barındıran kubbeli bir duvar veya kask içermektedir. Bir klima

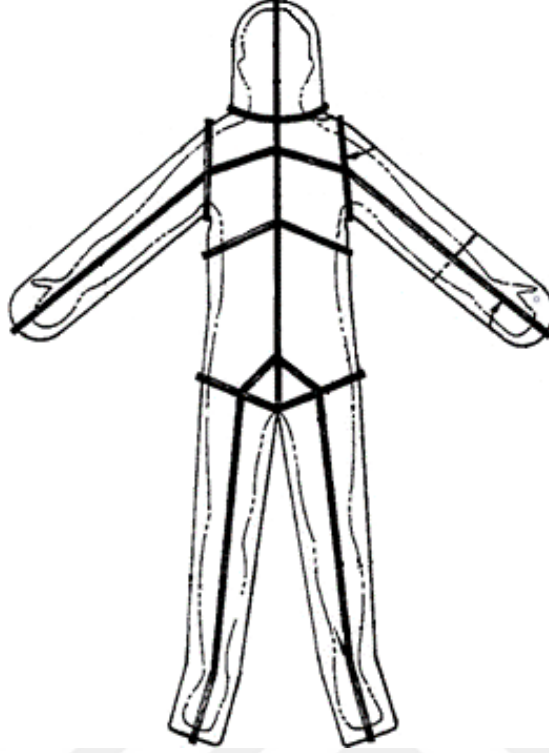
ünitesinden gelen soğuk hava, esnek bir hortumdan kubbeli duvardaki açık uçlu bir odaya genişleyen bir girişe geçmektedir. Hava, radyal bölmeler veya havayı istenen alanlara yönlendirmek için bir hava geçidi oluşturan iç gözenekli duvar ile bölmenin etrafına dağıtılmaktadır. Menteşeli bölümler, hava akışını belirli yüz bölgelerine yönlendirme imkanı oluşturmaktadır. Ünite ayarlanabilir, taşınabilir ve bağımsız olabilir veya tekerlekli bir masaya veya yatağa takılabilmektedir (Anonim 2023n).



Şekil 20. Plastik cerrahide şişkinliği önlemek için cihaz.

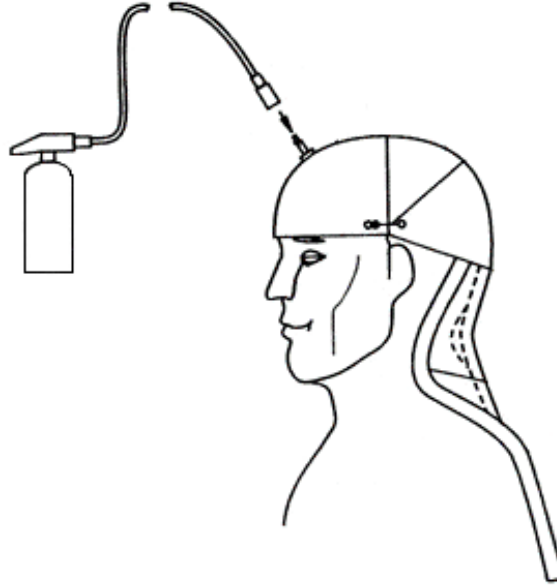
Tıbbi bir işleme tabi tutulan bir hasta için veya herhangi bir nedenden hipotermi veya hipertermisi olan hasta için plastik tabakanın ısı koruma veya soğutma kıyafeti muhafazasıdır. Bu ısıtma soğutma kıyafeti tercihen, ısı kaybını azaltmak veya arttırmak için vücudun etkilenmeyen kısımlarının sızdırmazlığını sağlamak ve ihtiyaç duyulması durumunda cerrahi prosedürün tabi olduğu alanlara tam erişime izin verirken bu parçaları aktif olarak ısıtmak veya soğutmak için bölümlere ayrılmıştır. Isıtma-soğutma kıyafeti, kollar ve bacaklar için ayrı elemanlara sahip olabilir; bölmelerin her biri uzunlamasına tercihen dik bir dikişe sahiptir. Manipülasyon ve prosedürler için bu alanlara erişime izin vermek için kolayca açılabilir ve bunlar, içine sokulmuş veya bunlara takılmış tüpler ve borular etrafında yeniden kapatılabilmektedir. Isıtma soğutma kıyafeti parçaları normalde baş, kol, bacak, karın ve torasik kısımlardan oluşmaktadır. Hastaya doğrudan temas eden ek yapışkan, hastanın vücudunun dahil olmayan kısımlarından ısı kaybını önlemek için bitişik bir bölme açık durumda tutulacaksa kullanılabilen enine bölgeleri çevreleyen bölmelerden sağlanmaktadır. Hava

sirkülasyonu, ısıtma veya soğutma ve nem alma cihazlarının adı geçen ısıtma soğutma kıyafeti bağlanması için bir veya daha fazla portal gerektiği gibi takılabilmektedir (Anonim 2023o).



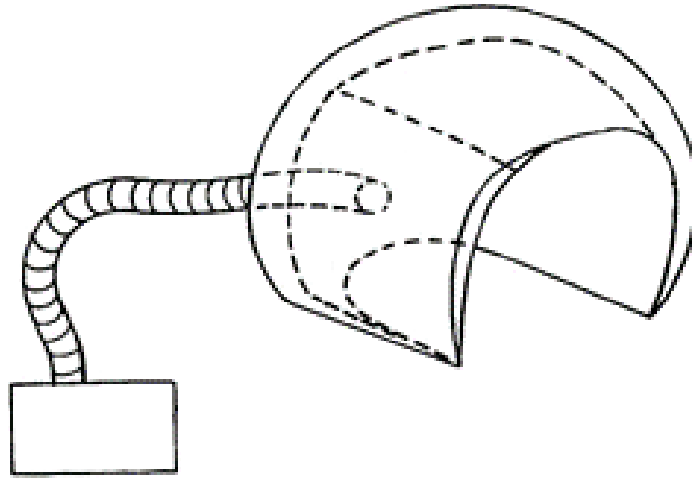
Şekil 21. Isıtma ve soğutma muhafaza kıyafeti.

Hastanın nörolojik olarak bozulmadan hayatta kaldığı iskemik (kan akışının yavaşlaması veya tamamen kesilmesi) ve anoksik (organizma dokusunun tümüyle oksijensiz kalması) yaralanmaların bir sonucu olarak beyni canlandırmak için bir cihazdır. Cihaz, bir kafa kaplama kask ve aktifleştirilmiş bir soğutma sıvısı kaynağından soğutulmuş sıvının içinden geçmesini daha sonra beyin ve üst omurganın soğutulmasını sağlamak için birbirine bağlı içi boş boşluklara sahip arka destek plakası içermektedir. Soğuduktan sonra beyin metabolizması yavaşlar, böylece nörolojik hasar en aza indirilirken resüsitasyon çabaları devam edebilmektedir. Yöntem, kaskın hastanın başına yerleştirilmesini ve ayarlanmasını, arka plakanın hastanın boynunun altına ve kask ile dayanağa yerleştirilmesini, kaskın soğutucu kaynağına bağlanmasını ve soğutucu kaynağının etkinleştirilmesini içermektedir (Anonim 2023ö).



Şekil 22. Baş bölgesini canlandırmak için kullanılan cihaz.

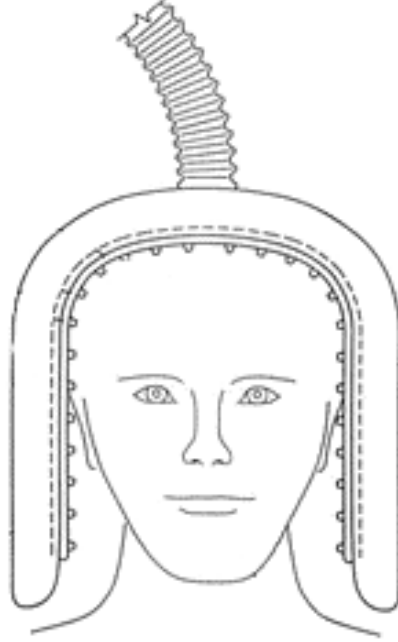
Soğutulmuş havanın hastanın kafasından geçirildiği beynin soğutulması için bir aparatır. Beyin soğutma aparatı, bir hava soğutma cihazı ile ara yüze adapte edilmiş bir hava yayıcı örtü ve hastanın başını ve boyun bölgesini çevreleyebilen bir örtü içermektedir. Baş veya boynun etrafına yerleştirilmiş elastik kılcal ağın kullanımını içermektedir (Anonim 2023p).



Şekil 23. Beyin soğutma cihazı.

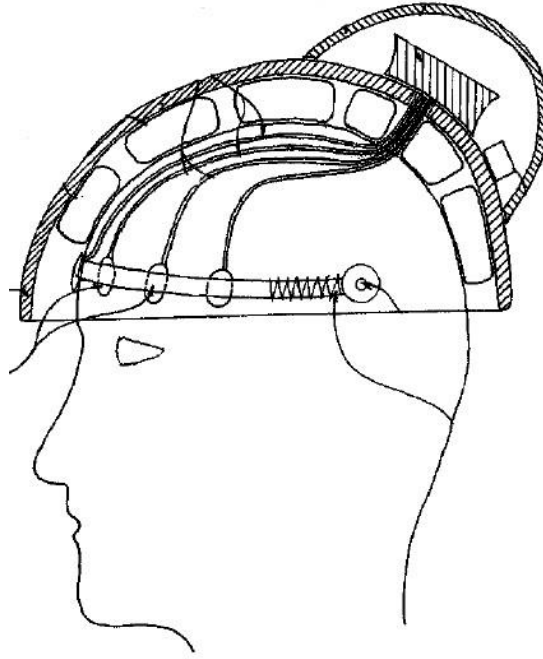
Hastanın kafasına hava gibi termal olarak kontrol edilen gazın baş bölgesine yönlendirilmesiyle tedavi için kullanılan cihazlarla ilgilidir. Hastanın kafasını soğutmak için kullanılan bir cihazdır. Cihaz, hastanın kafasına adapte edilebilen çok sayıda yere tutturulmuş bir üst tabaka ve bir taban tabaka içermektedir. Taban tabakası, şişen bir ortamı cihazdan hastanın başına doğru yönlendiren çok sayıda açıklık bulunmaktadır. Taban tabakası ayrıca, hastanın kafasına bir soğutma sıvısı dağıtan ve dağıtan bir evaporatif soğutma elemanını da desteklemektedir. Sıvı, cihazdan çıkan şişirme ortamı ile hastanın kafasından buharlaştırılmaktadır. Evaporatif soğutma elemanı, çeşitli konfigürasyonlarda yapılabilir ve

basınçlı veya basınçsız olabilen çeşitli sıvıları dolaştırabilmektedir. Operasyonda, cihaza oda sıcaklığının veya soğutulmuş havanın seçici olarak verilmesi için bir kompresör de içerebilen bir hava alçaltıcısı, cihaza bağlanmaktadır. Üfleyici, cihazdaki bir giriş deliğine basınç altında hava iletirmektedir. Basınçlı hava cihaz boyunca dağıtılır ve taban tabakasındaki açıklıklardan hastanın kafasına doğru akmaktadır (Anonim 2023r).



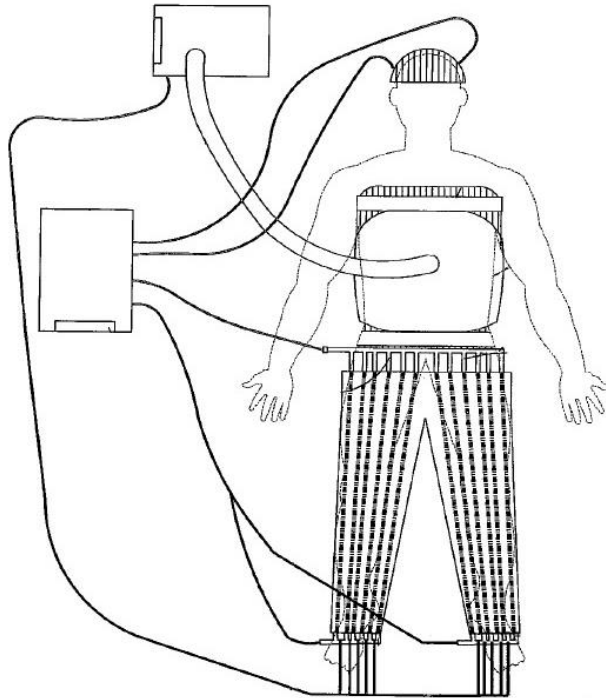
Şekil 24. Hastanın kafa bölgesini soğutma cihazı.

Taşınabilir bir ısı kontrol cihazı bir giysinin içine entegre edilmiştir. Portatif ısı kontrol cihazı bağımsız olabilir ya da bileşenler giysinin çeşitli yerlerine dağıtılabilir. Taşınabilir ısı kontrol cihazı isteğe bağlı esnek bir muhafaza ve bir soğutma yüzeyi içermektedir (Anonim 2023s).



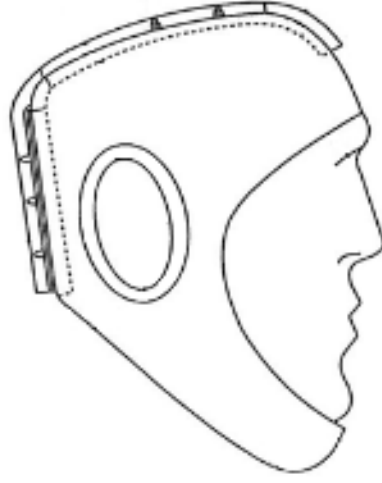
Şekil 25. Sıcaklık kontrol cihazı.

Bir soğutma sistemi içeren, hastanın kardiyo-solunum fonksiyonlarını arttırmak için terapötik bir hipotermi ve kardiyo-solunum güçlendirme aparatıdır. Beynin, gövdenin ve bacakların seçilen ve önceden belirlenmiş bir sıcaklık aralığında sırasıyla seçici ve bağımsız bir şekilde soğutulması için bir üst soğutma bölümüne, ara soğutma bölümüne ve alt soğutma bölümüne bir soğutma sıvısı tedarik etmek için bir soğutma sıvısı dolaşım sistemi kullanılmaktadır (Anonim 2023ş).



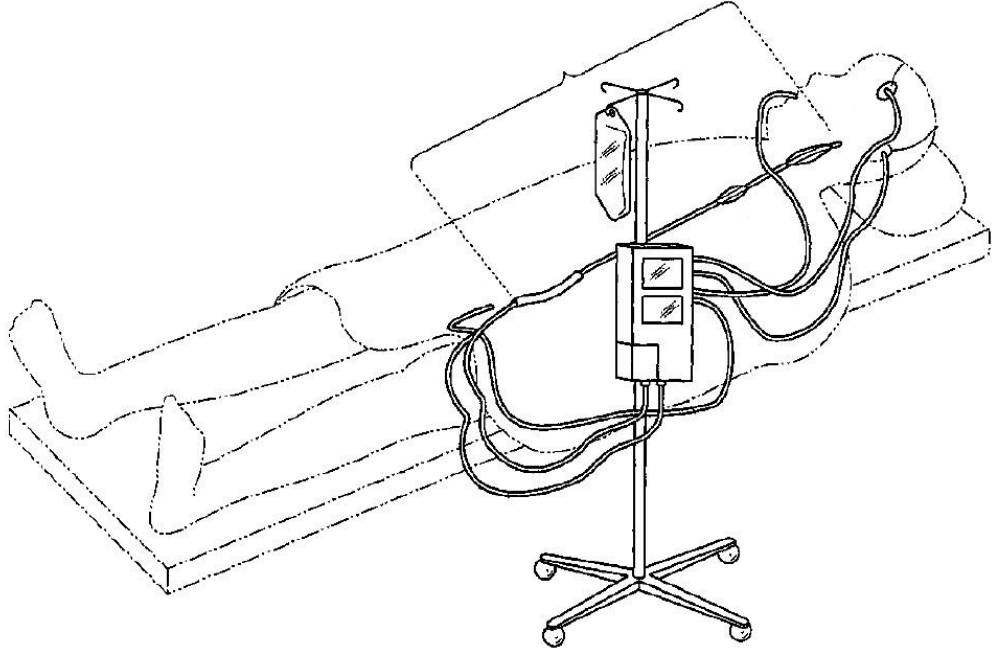
Şekil 26. Hipotermi ve kardiyo-solunum güçlendirme cihazı.

İnme tedavisine yönelik bir alettir. Özellikle buluş, felç geçiren kişilere kullanılmak üzere tasarlanmıştır (Anonim 2023t).



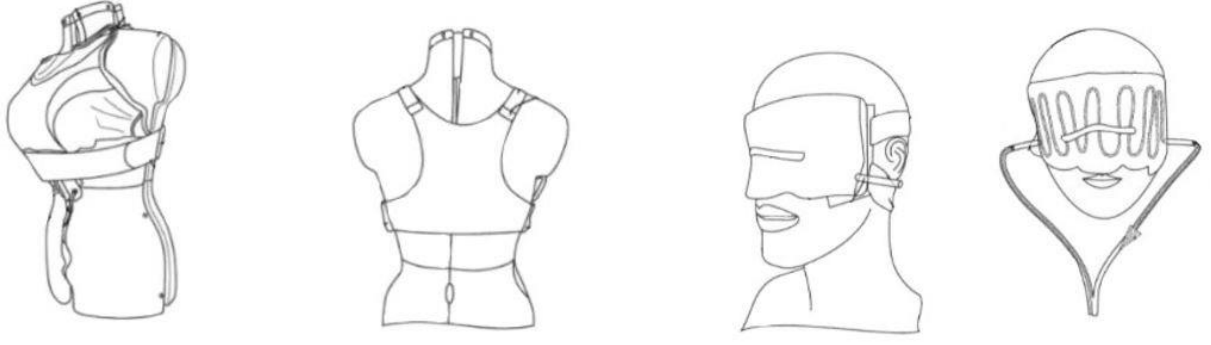
Şekil 27. İnme tedavisinde kullanılan cihaz.

Genel olarak tıbbi cihazlara, yöntemlere ve daha özel olarak bir hastaya yerleştirilen bir ısı değişim kateteri aracılığıyla dolaştırılan bir ısı değişim sıvısının sıcaklığını ve akışını kontrol etmek için programlanabilir, mikroişlemci tabanlı bir kontrolöre bağlanmaktadır. Hastanın vücudunun en azından bir kısmını soğutmak veya ısıtmak için kullanılabilmektedir (Anonim 2023u).



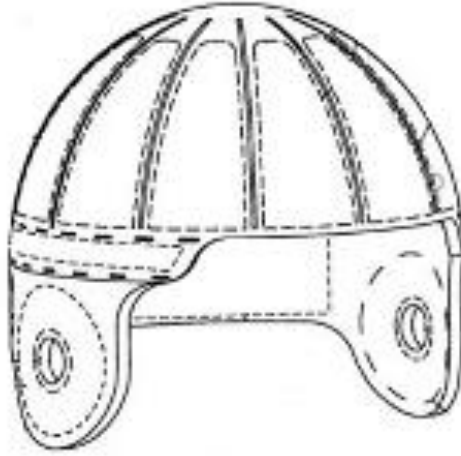
Şekil 28. Vücudun ısıtılması veya soğutulması için kullanılan cihaz.

Meme büyütme ameliyatı sonrası veya yüz cerrahisi sonrası hastaya iyileşme sürecine yardımcı olmak üzere tasarlanmış bir sargı ve mesane sistemi ile ilgilidir (Anonim 2023ü).



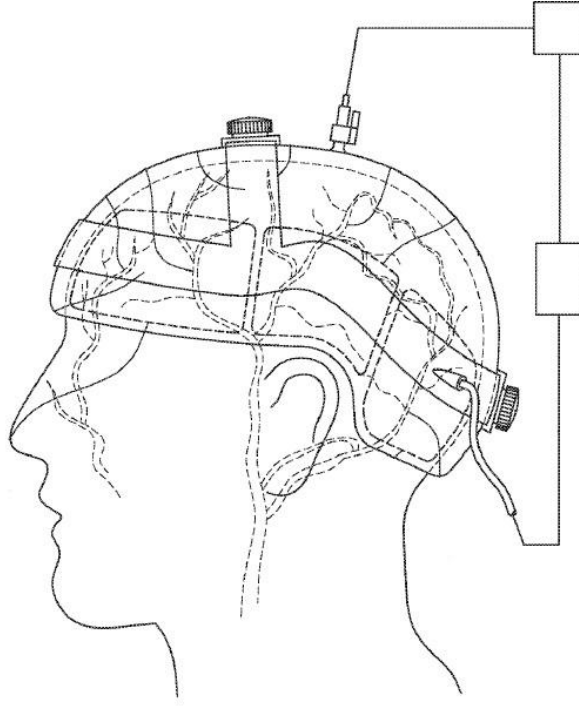
Şekil 29. Yüz cerrahisi ve göğüs ameliyatı sonrası iyileşme için kullanılan cihaz.

Genel olarak herhangi bir kafa travmasından kaynaklanan şişliği kontrol etmek için bir kafa soğutma kapağı tasarlanmıştır. Kafa soğutma kapağı, bir soğutma maddesi içeren çok sayıda iç oyuğa sahip esnek, tercihen ayarlanabilir kapak şeklinde bir ana gövde içermektedir. Ana gövde, üç boyutlu bir kapak şeklinde inşa edilebilir veya alternatif olarak, üç boyutlu bir kapak şeklini benimsemek için deforme olabilmektedir. Kafa soğutma kapağı bir kullanıcının kafasına yerleştirildiğinde, yeterli soğuk bir sıcaklıkta tutulan soğutma maddesi, kafayı soğutur ve travmatik kafa travması nedeniyle oluşan şişlikleri kontrol etmektedir. Kullanıcının kullanmadığı zamanlarda, kafa soğutma kapağı, daha fazla kullanım için bir buzdolabında veya dondurucuda uygun bir şekilde saklanabilmektedir (Anonim 2023v).



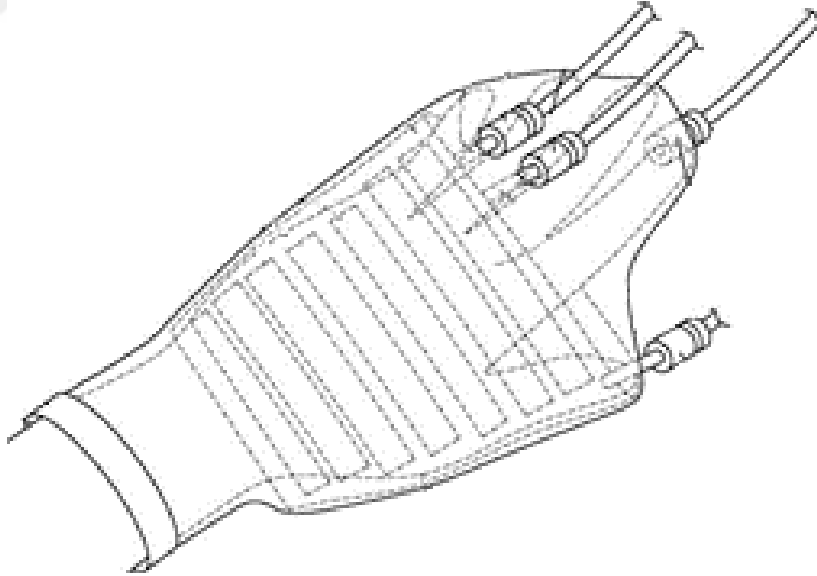
Şekil 30. Kafa soğutma cihazı.

Kan akışını kısıtlama aparatı, bir kullanıcının kafasına sabitlenebilecek şekilde konfigüre edilmiş bir çerçeve elemanı içermektedir. Bir basınçlandırma mekanizmasına sahip olan bu kafa aparatı en az bir soğutma pedi çalışmaktadır (Anonim 2023y).



Şekil 31. Kan akışını kısıtlama ve baş bölgesini soğutma cihazı.

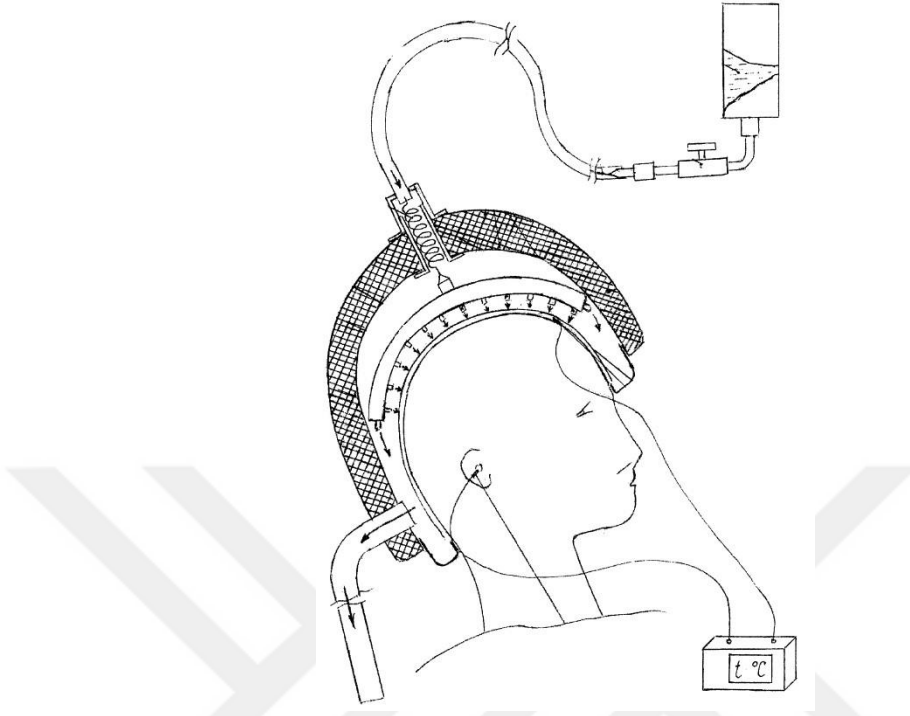
Termo-fizyoloji ve daha özel olarak, tüysüz cilt bölgelerine hedefli ısıtma veya soğutma uygulanmasına dayanarak hastaların çekirdek vücut sıcaklığının yönetilmesi için kullanılan cihazlardır (Anonim 2023z).



Şekil 32. Vücut sıcaklığını kontrol etmek için kullanılan cihaz.

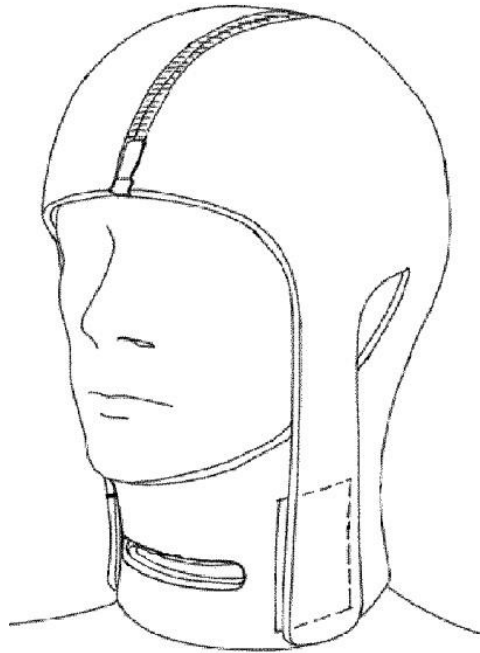
RU195163U1 nolu patent çalışmasında, tıbbi teknolojiyle ilgili kritik durumlarda acil uygulanması için tasarlanmış bir cihazdır. Bu cihaz, ısı yalıtımlı bir çalışma odası içermektedir. Başın etrafına sıkıca oturması ve hacmini sızdırmaz hale getirmesi için elastik bir conta ile başın sokulması için tasarlanan başlıktır. Başlık kısmının arkasında bir çalışma alanı mevcuttur. Bir florokarbon soğutucu akışkanın yüksek basıncı altında sıvı faz durumuna yerleştirmek için bir

silindir, depolama sırasında kapalı durumda ve açık durumda bir valf takılmıştır. Kafatası yaralanmaları, kaza durumu dahil olmak üzere kritik durumlarda hayat kurtarmak için kullanılan bir cihazdır (Anonim 2023z.1).



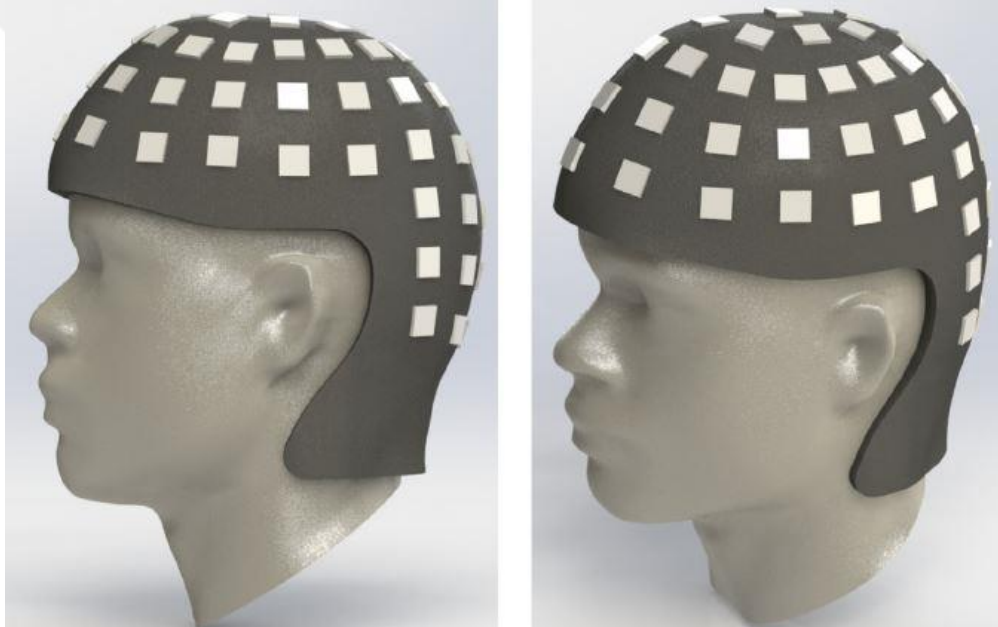
Şekil 33. Kafa bölgesini soğutma için kullanılan cihaz.

Bir hastanın kafa kısmının tıbbi olarak soğutulmasını sağlamak için kullanılmaktadır (Anonim 2023z.2).



Şekil 34. Tıbbi olarak kafa bölgesini soğutma cihazı.

Başka bir çalışmada ise kemoterapi hastalarında saç dökülmesini önlemek için etkili ve kontrollü saç derisi soğutması sağlamayı amaçlayan yeni bir termoelektrik kriyoterapi başlığı sunulmaktadır. Kapağın tasarımı, hastanın kafasına sıkıca oturan yumuşak bir termal arayüz malzemesine eşit aralıklarla yerleştirilmiş ve yapıştırılmış çok sayıda termoelektrik soğutucudan oluşmaktadır. Sayısal bir model geliştirilmiş ve hedefine ulaşmak için kafa derisinden 26,5 W ısı çıkarılması gerektiği sonucuna varılmıştır. kapak tasarımının etkinliğini değerlendirmek için deri altı dokunun sıcaklık haritaları oluşturulmuştur. Geçici çalışmalar, terapötik sıcaklığa soğutmanın 40 dakika içinde elde edilebileceğini göstermektedir. Soğuk kaynaklı doku hasarı olasılığını önlemek için, bireysel termoelektrik soğutma modülleri yaklaşık 3175 W/m²'nin üzerinde bir soğutma akışında çalıştırılmamalıdır. Bu, her biri kafa derisine 0,7 W soğutma sağlayan, bir dama tahtası düzeninde eşit aralıklarla yerleştirilmiş 38 modülle elde edilebilmektedir (Baldry et al., 2018).



Şekil 35. Saç derisi soğutması için tasarlanmış termoelektrik başlık modeli görüntüsü.

Bu çalışmada beyin amelyatları sonrasında gelişebilecek komplikasyonların önüne geçebilmek amacıyla, boyun bölgesini istenilen sıcaklık aralıklarında tutabilen bir buhar sıkıştırırmalı soğutma makinesi imal edilmiştir. Bu sistemde üç farklı kapalı çevrim bulunmaktadır. Birinci çevrim olan soğutma makinesi çevriminde, soğutucu akışkan R134a kullanılmıştır. Soğutma makinesi kapalı çevriminden geçen R134a, ısı eşanjöründe ikinci çevrimde çalışan antifirizle ısı transferi yaparak antifirizin ısısını çekmiştir. R134a kendi soğutma çevrimini tamamlamak için kompresöre giderken, ısı eşanjöründe ısıyı çekilerek soğutulan antifiriz boyun bölgesinde bulunan 3 farklı bant geometrisine sahip bakır borulardan geçirilmiştir. Boyun bölgesinde soğutulmuş antifiriz ile beyne giden damalar soğutulmuştur. Evaporatör debisi olarak bakır borulardan geçen soğutulmuş antifiriz debisi ise 30, 40, 50

L/h'tir. Üçüncü çevrim ise boyun bölgesinde ki damarları modellemek için oluşturulmuştur. Sıcak su banyosunda su, kanı modellemek amacıyla 36,5°C'ye ayarlanmıştır. Damar modellemesinde damar içinden geçen suyun debisi 350 L/h olarak alınmıştır. Modeldeki su pompa ile sıcak su banyosundan model insan maketine pompalanmıştır. Soğutma makinesi sisteminde soğutulan antifriz ile sıcak su banyosundan gelen borular arasında ısı transferi gerçekleştirilmiştir. Soğutulan antifriz ile 36,5°C'de modellenen damar arasında ki sıcaklık farkı ölçülmüştür. Sonuç olarak boyun bölgesinde damarların soğutulma işlemi ile bu damarlarda oluşturulan ΔT sıcaklık farkı incelenmiştir. Ayrıca soğutma makinesinin soğutma etkinlik katsayısı belirlenmiştir. Çalışmada deney parametreleri için yapılması gereken deney sayısı ve deney planı yüzey yanıt yöntemi ile belirlenmiştir. Bu yöntem ile elde edilen sonuçlar çeşitli grafikler ve analiz sonuçları ile yorumlanmıştır.



KURAMSAL TEMELLER

Isı transferi, sıcak bir bölgeden soğuk bir bölgeye enerji taşıyan bir süreçtir. Isı transferi, üç mekanizma yoluyla gerçekleşmektedir (Cengel et al., 2012). Bunlar iletim, taşınım ve ışımadır.

İletim (konduksiyon): Isı transferi iki katı yüzey arasında doğrudan temas yoluyla gerçekleşmektedir. Bu mekanizma, sıcak ve soğuk maddeler arasındaki temas noktasında moleküllerin enerji transferi yoluyla meydana gelmektedir. İletim, termal iletkenliği olan maddelerde meydana gelir ve malzemeler arasında sıcaklık, yoğunluk ve özgül ısı gibi özelliklere bağlı olarak farklı hızlarda gerçekleşebilmektedir (Boles & Cengel, 2014).

Taşınım (Konveksiyon): Sıcaklığın farklı katmanlarında hareket eden bir akışkanın yüzeydeki sıcaklığı değiştirerek ısı transferi gerçekleşir. Bu mekanizma, gaz veya sıvılar arasındaki enerji transferi ile gerçekleşir (Özışık, 1985).

İşıma (radyasyon): Isının elektromanyetik dalgalar yoluyla yayılmasıdır. Bu mekanizma, ısı yayan bir nesnenin elektromanyetik dalga yayarak diğer nesneleri ısıtmasına ışımayla gerçekleşmektedir. Isı transferi, bu üç mekanizmanın kombinasyonu ile gerçekleşebilir ve bir mekanizmanın diğerine göre daha fazla etkili olduğu durumlar da mevcuttur (Bergman et al., 2011). Isı transferi, bu üç mekanizmanın kombinasyonu ile gerçekleşebilir ve bir mekanizmanın diğerine göre daha fazla etkili olduğu durumlar da bulunmaktadır. Isı transferi, sıklıkla bir mekanizmanın diğerine göre daha etkili olduğu durumlarda mevcuttur. Bazı örnekler şunlardır:

Isımanın etkili olduğu durumlar: Işıma, boşlukta bile yayılabilen bir mekanizmadır ve bu nedenle çevresel şartlardan bağımsız olarak her zaman etkilidir. Sıcak nesnelerin soğuk nesnelere göre daha fazla ısıma yapması nedeniyle, birçok ısı transferi uygulamasında ısıma mekanizması önemlidir.

İletimin etkili olduğu durumlar: İletim, termal iletkenliği olan maddelerde gerçekleşir ve bu nedenle sıcaklığın yoğunluk, sıcaklık ve özgül ısı ile ilişkili olduğu malzemeler arasında farklı hızlarda meydana gelmektedir. Dolayısıyla, sıcaklık farklılıklarının büyük ölçüde katı maddelerde gerçekleştiği durumlarda iletme mekanizması daha etkilidir.

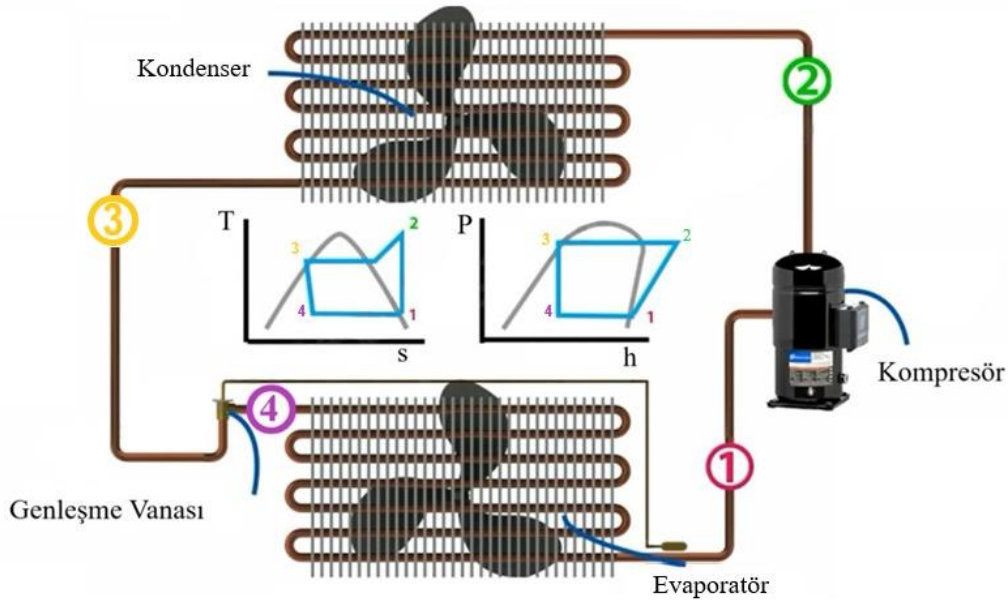
Konveksiyonun etkili olduğu durumlar: Konveksiyon, sıvı ve gazların hareketleriyle gerçekleşir ve bu nedenle genellikle akışkanlar arasındaki sıcaklık farklarına bağlıdır. Örneğin,

suyun ısıtılması ve soğutulması gibi durumlarda konveksiyon mekanizması daha etkilidir.

Karışık durumlar: Birçok ısı transferi uygulaması, üç mekanizmanın bir kombinasyonunu içerir. Örneğin, bir oda ısıtıldığında, ısıtıcıdan gelen ısı iletme yoluyla odadaki nesnelere ulaşır, daha sonra odadaki hava konveksiyon yoluyla ısınır ve son olarak odanın duvarlarından radyasyon yoluyla dışarıya ışıma yapar (Bejan & Kraus, 2003).

Bir etki olmadan ısı enerjisinin hareket yönü yüksek sıcaklıktaki ortamdan daha düşük sıcaklıktaki ortama doğru doğal bir şekilde hareket ettiği ifade edilmiştir. Bu olay gerçekleştiği durumda dışardan ilave bir enerji gerekmeden kendiliğinden gerçekleşmektedir. Ancak düşük sıcaklıkta ki bir ortamdan yüksek sıcaklıkta ki bir ortama ısı geçişi doğal bir şekilde gerçekleşmeyecektir. Bu bahsi geçen durumlar için ısıtma ve soğutma makinelerinin kullanılması şarttır.

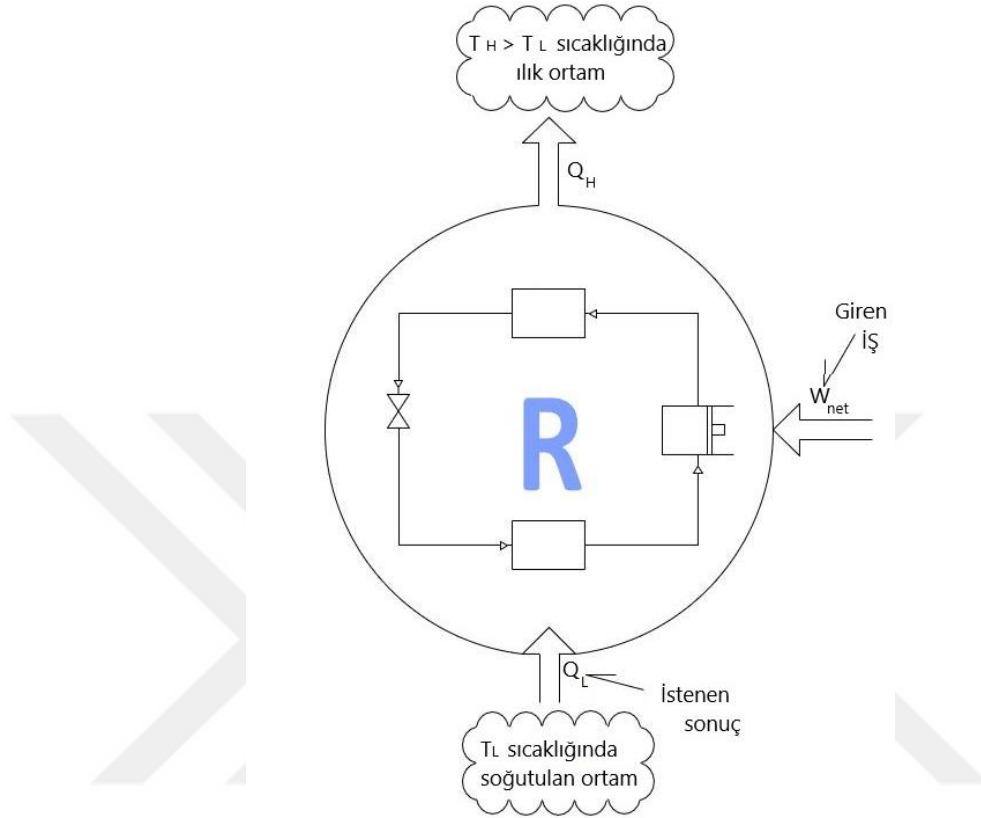
Isıtma makineleri ile soğutma makinelerinin ortak yönü çevrim gerçekleştirerek çalışan sistemler olmasıdır. Soğutma sistemlerinde kullanılan akışkana soğutucu akışkan denilmektedir (Cengel et al., 2012). Buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi en yaygın kullanılan soğutma çevrimidir. Soğutma makinelerinin temelde 4 tane elemanı vardır. Şekil 36’da verilen bu temel elemanlar kompresör, kondenser, kısılma vanası ve evaporatördür. Soğutucu akışkan kompresörden çıkıp kompresöre tekrar dönmesi ile çevrim tamamlanmış olmaktadır.



Şekil 36. Soğutma makinesi temel elemanları (Demir & Adıgüzel, 2023).

Bu dört eleman içerisinde geçen soğutucu akışkan kompresörden geçerken basıncı ve sıcaklığı artırılarak sıkıştırılmaktadır. Kondenserde dış ortama (su, hava) ısı atılarak soğutucu akışkanın yoğunlaşması sağlanmaktadır. Kısılma vanasından geçirilen akışkanın basıncı ve sıcaklığı düşürülmektedir. Evaporatöre gelen akışkan ortamdan ısıyı çekerek buharlaşır ve

tekrar kompresöre geri gitmektedir. Şekil 37’de bir soğutma makinesinin amacı verilmiştir. T_L sıcaklığındaki soğutulan ortamdan çekilen ısı miktarı Q_L ; T_H sıcaklığındaki ılık ortama atılan ısı miktarı ise Q_H ile ifade edilmektedir. Isı geçişi için kendiliğinden olmadığından soğutma makinesine verilen net iş W_{net} ile gösterilebilir.



Şekil 37. Q_L ısısını çeken bir soğutma makinesi çalışma prensibi (DEMİR & ADIGÜZEL, 2023).

Bir soğutma cihazının verimi, **performans katsayısı** ile ifade edilmektedir. COP_{SM} ile gösterilmektedir. COP_{SM} değeri birden büyük olabileceği unutulmamalıdır (Çengel, 2000).

$$COP_{SM} = \frac{Q_L}{W_{net, giren}} \text{ veya } COP_{SM} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L} - 1} = \frac{Q_L}{W_{net}} \quad (1)$$

Bir ısı pompası makinesinin etkinlik katsayısı ise;

$$COP_{IP} = \frac{Q_H}{W_{net, giren}} \text{ veya } COP_{IP} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{1 - \frac{Q_L}{Q_H}} = \frac{Q_H}{W_{net}} \quad (2)$$

ifadeleri ile hesaplanmaktadır.

Kontrol Hacimlerinde Kütlenin Korunumu

Kontrol hacimlerinde zamanla değişimin olmadığı sürekli şartlarda hacim içerisinde kütle değişimi olmamaktadır. Kütle sabittir. Kontrol hacim sınırlarından giren ve çıkan kütleler

eşit olmalıdır ve matematiksel olarak aşağıda ki ifade ile verilmektedir.

$$\sum_g \dot{m} = \sum_{\dot{c}} \dot{m} \text{ [kg/s]} \quad (3)$$

Bağıntıda verilen g ve ç ifadeleri sırasıyla giriş ve çıkışı simgelemektedir.

Kontrol hacimlerinde enerjinin korunumu:

Kontrol hacimlerinde sürekli şartlarda sistemin enerjisi bir formdan başka forma dönüşür toplam enerjide değişiklik olmaz ($\Delta E_{KE} = \Delta E_{PE} = 0$). Kontrol hacminden giren ve çıkan ısı iş ve kütleler eşit olması gerekmektedir. Sürekli akışlı açık sistemlerde enerji korunumunun matematiksel ifadesi aşağıda verilmektedir.

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_{\dot{c}} e_{\dot{c}} - \sum \dot{m}_g e_g \quad (4)$$

Denklemden bulunan e ifadesi $e = h + pe + ke$ hesaplanırsa ve termodinamiğin birinci yasasına göre;

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_{\dot{c}} \left(h_{\dot{c}} + \frac{1}{2} v_{\dot{c}}^2 + g z_{\dot{c}} \right) - \sum \dot{m}_g \left(h_g + \frac{1}{2} v_g^2 + g z_g \right) \quad (5)$$

Kinetik enerji ve potansiyel enerji denklemde sıfır olarak yazıldığı zaman

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (6)$$

ifadesine dönüşür. Kompresör için ısı kayıpları olmadığı farz edilirse daha basit şekilde yazılabilir. Kompresör için ısı kayıpları ihmal edilirse ifade denklem;

$$-\dot{W} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (7)$$

şeklinde olmaktadır. Enerji denklemlerini evaporatör için aşağıda ki ifadeler ile verilebilmektedir (Afshari).

$$\left[\begin{array}{c} \text{Belirli zaman aralığında} \\ \text{sınırlardan giren toplam enerji} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Aynı zaman aralığında} \\ \text{sınırlardan çıkan toplam enerji} \end{array} \right]$$

Bu ifade deney sistemi için;

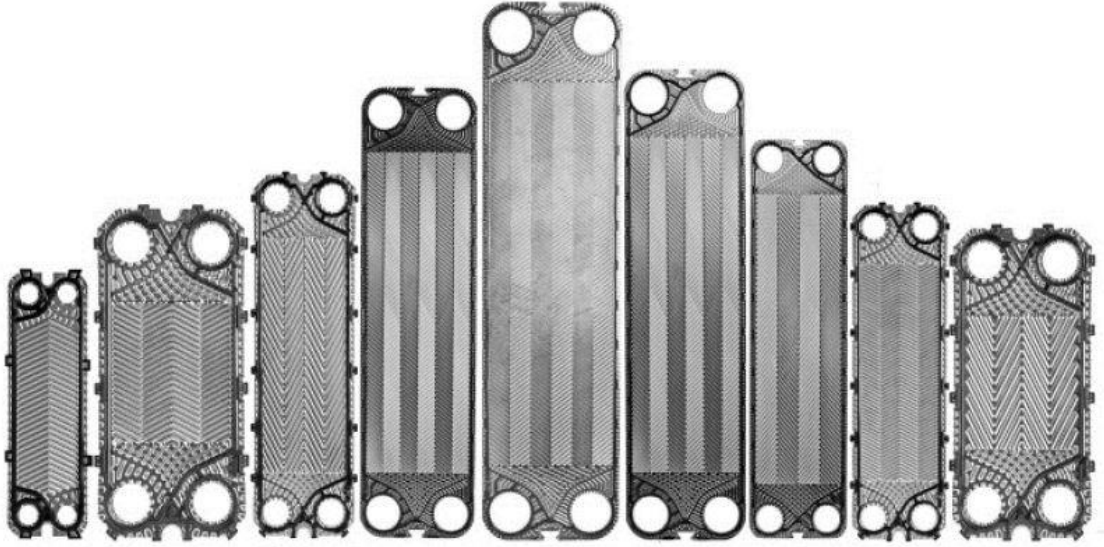
$$\dot{Q} = \dot{m}(h_{\dot{c}} - h_g) \text{ [kW]} \quad (8)$$

$$\dot{Q} = \dot{m} c_p (T_{\dot{c}} - T_g) \text{ [kW]} \quad (9)$$

$\dot{Q}$ evaporatör içerisindeki soğutucu akışkan R134-a'nın kazandığı ısı güçtür.

Plakalı Isı Değiştiricileri

Plakalı ısı değiştiricilerin yüksek verime sahip olmaları ve boyutlarının küçük olması birçok uygulamada tercih edilme sebebidir. Isıtma-soğutma sistemleri, gıda sektörü en çok kullanılan alanlardır (Kakac et al., 2002). İnce plakalardan oluşan ve tek parça halinde preslenen plakalı ısı değiştiricileri soğuk ve sıcak akışkanlar girintili-çıkıntılı veya düz plakalar ile birbirinden ayrılmaktadır (Zohuri, 2017). Kullanım -200 ile +250°C sıcaklıkları arasında 50 bar'ın altındaki basınçlarda çalışabilirler. Contalı ve lehimli olarak sınıflandırılır.



Şekil 38: Farklı desenlere sahip ve farklı boyutlardaki plaka örnekleri (Zohuri, 2017).

Contalı Plakalı Isı Değiştiricileri

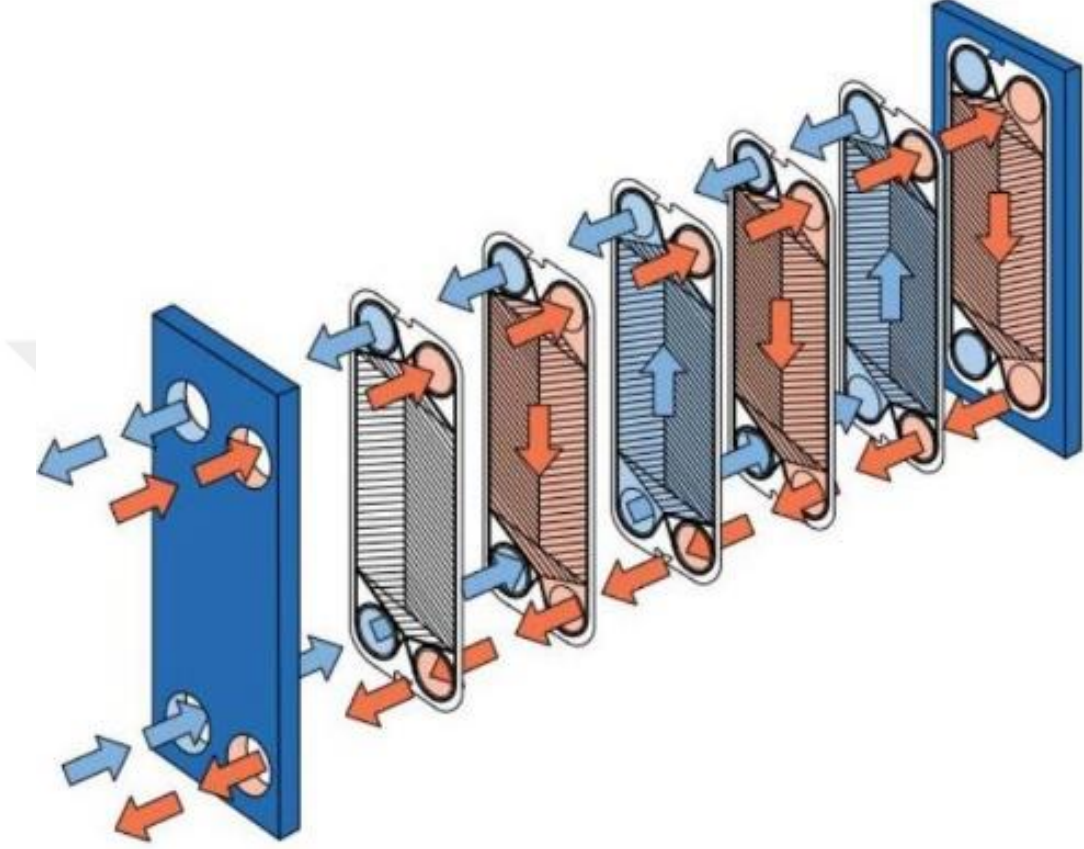
Şekil 39'da verilen conta plakalı ısı değiştiriciler, birçok ince plakadan oluşmaktadır. İki çerçeve arasına sıkıştırılmış akışkanları birbirinden ayıran yüzeylere sahip ısı değiştirici çeşididir. Cıvatalar sayesinde conta plakalı ısı değiştirici düzeneği bir arada durmaktadır. Farklı boyutlara ve desenlere sahiptir.

Plakaların dört köşesinde de delikler bulunmaktadır. Bu delikler soğuk ve sıcak akışkanların geçişine imkân sağlamaktadır. Soğuk ve sıcak akışkanların yönlendirilmesini deliklerde kullanılan contalar sağlamaktadır ve aynı zamanda karışmalarını engellemektedir. Contaların dış yüzeyleri dış ortama açık olması sebebi ile düzenekte bir kaçak dışarıdan kolaylıkla tespit edilebilmektedir.

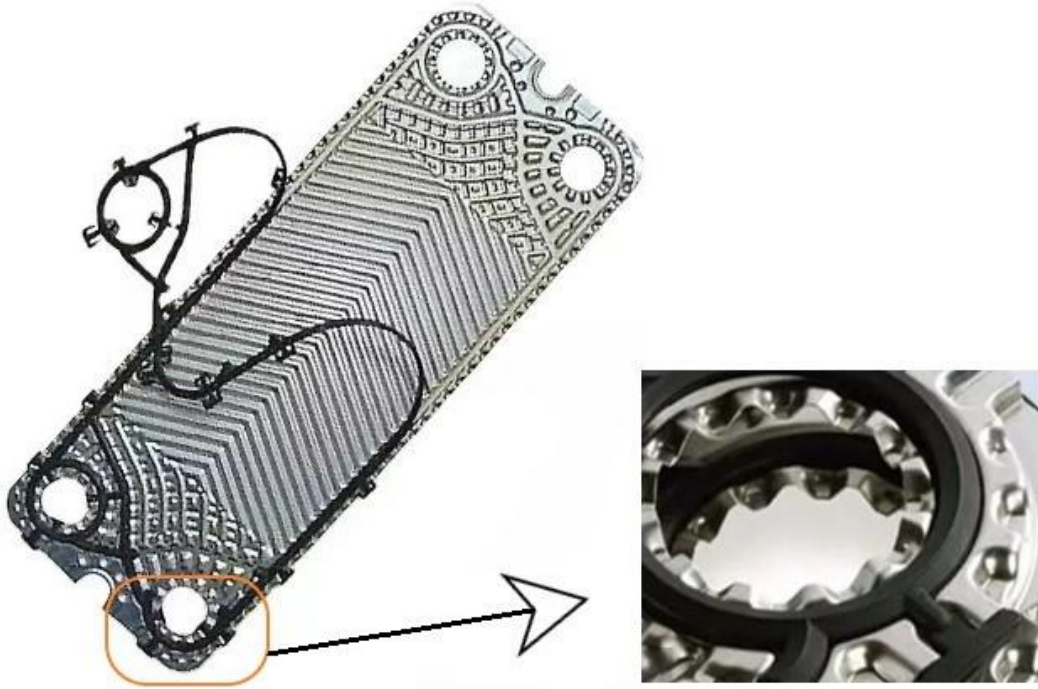
Bu contalı plakalı ısı değiştiricilerin kapasitesi sisteme plaka eklenip çıkarılarak değiştirilebilir. Verimin düşmesini önlemek için belirli aralıklar ile temizlenmelidir.

En büyük avantajları kolay ve hızlı bir şekilde sökülüp temizlenerek tekrar işleme alınabilmeleridir.

Plakaların ısı iletkenliği dikkat edilmesi gereken önemli parametredir. Aktarılabilecek ısı miktarını sınırlayan en önemli parametre ısı iletim katsayısıdır. Isı değiştiricinin maliyetinin hesaplanmasında çok önemli rol oynamaktadır. Plakaların ısı iletim katsayısı azaldıkça, istenilen ısı ılı yükü karşılayabilmek için ısı transfer alanı artar ve bu da ısı değiştiricinin boyutlarının, ağırlılığının ve maliyetlerinin artmasına sebep olmaktadır (Genç, 2014).



şekil 39. Contalı plakalı ısı değiştirici (Zohuri, 2017).



Şekil 40. Ayrıntılı contalı plakalı ısı değıştirci.

Lehim Plakalı Isı Eşanjörü

Lehim plakalı ısı değıştirciler, contalı plakalı ısı değıştirciler ile benzerdir. İki ısı eşanjör örneği de dalgalı yüzeylere sahip bir dizi ince plakadan oluşmaktadır. Ancak lehimli plakalı ısı değıştircilerde contalar bulunmamak ile birlikte baskı plakaları ve sıkıştırmayı sağlayan sapmalar da bulunmamaktadır.

Bu durum ise daha düşük ağırlıkta, daha az karmaşık ve daha kompakt bir ısı değıştirci elde edilmesini sağlar. Literatürde yer alan ve sayısal sonuçlara göre plakaların üzerinde ki girinti çıkıntılar kirlenmeye müsait olduğundan mümkün olduğu kadar küçük boyutlarda yapılması gerektiği anlaşılmaktadır (Grijspeerdt et al., 2003).

Lehim plakalı ısı eşanjörün de plakalar vakumlu fırında nikel veya bakır ile birbirine kaynaklanmaktadır. Contalı plakalı ısı değıştircileri gibi plakaların eklenip çıkarılması söz konusu değildir.

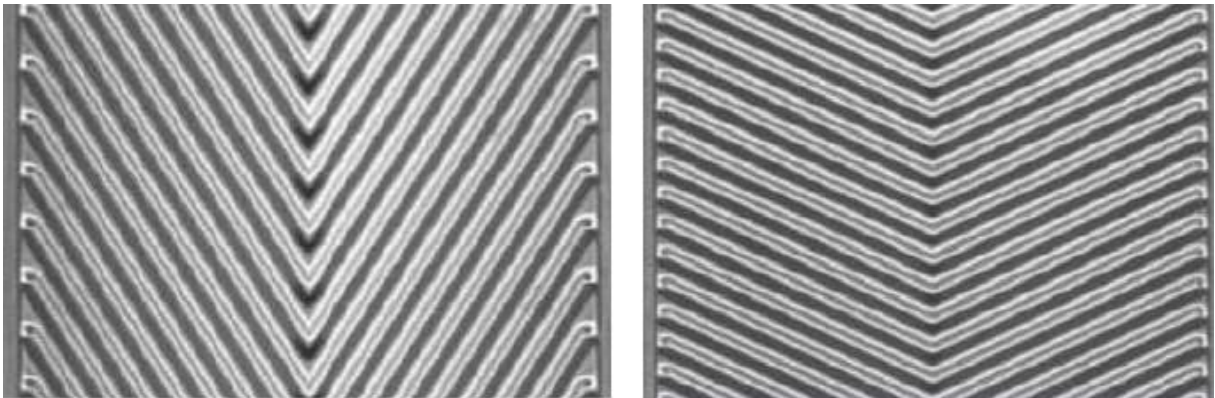
Lehim plakalı ısı eşanjörünün verimini büyük ölçüde etkileyen parametreler plakanın tipi, geometrisi akış yönü ve akışkanın termofiziksel özellikleridir (Arsenyeva et al., 2013), (Georgiadis & Macchietto, 2000).



Şekil 41. Lehimli bakır plakalı ısı değıştirci (Khanları, 2018).

Şekil 41’de lehimli plakalı ısı değıştircide sıcak ve soğuk akışkan devreleri gösterilmiştir. Günümüzde lehimli plakalı ısı değıştircilerin hemen hemen tamamında balık kılçığı tipindeki plakalar kullanılmaktadır.

Şekil 42’te iki farklı açıda balık kılçığı tipinde plaka verilmiştir. Tasarıma göre plaka kalınlığı 0,4- 1,2 mm arasında farklı kalınlıklarda imalatı yapılabilmektedir. Lehimli plakalı ısı değıştircilerde plaka malzemesi olarak, aşındırıcı nitelikteki akışlara karşı direnci yüksek olan 316 tip paslanmaz çelik tercih edilmektedir. Lehimli plakalı ısı değıştircilerde conta olmadığı için, yüksek sıcaklık ve yüksek basınçlarda çalışabilmektedirler. Lehimli plakalı ısı değıştircilerde elde edilen yüksek türbülans kirlenmeyi önlemektedir. Verimin artmasına sebep olmaktadır. Lehimli plakalı ısı değıştirciler, contalı ısı değıştircilere göre verimi yaklaşık %25 daha iyidir. Lehimli ve contalı plakalı ısı değıştirciler farklı yönleriyle Tablo 1’de karşılaştırılmıştır. Ayrıca lehimli plakalı ısı değıştirciler, ısıtma, soğutma, havalandırma, ısı pompası, sterilizasyon ve pastörizasyon gibi birçok uygulamada kullanılabilmektedirler (KILIÇ et al.), (Hesselgreaves et al., 2016), (Klemes et al., 2015).



Şekil 42. İki farklı açıda sahip balık kılçığı tipinde plaka (Klemes et al., 2015).

Tablo 1. Lehimli ve Contalı Plakalı Isı Değiştiricilerin Karşılaştırması (Genç, 2014)

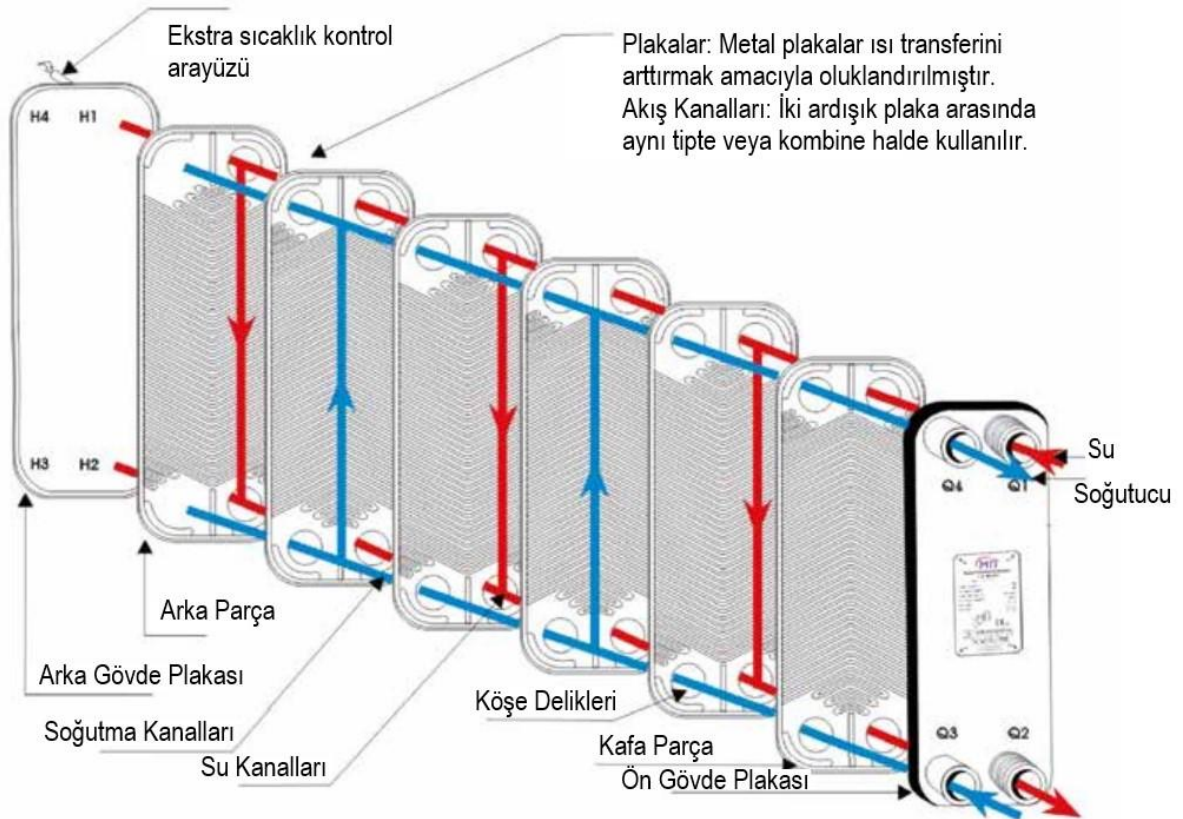
Lehimli plakalı ısı değiştiriciler	Contalı plakalı ısı değiştiriciler
Sızdırmazlık lehimlerle sağlanır	Sızdırmazlık contalarla sağlanır
Yüksek basınçlarda kullanılır (<50 bar)	Düşük basınçlarda kullanılır (<25 bar)
Demonte edilemez	Demonte edilir
Soğutucu akışkanlarda kullanılır	Soğutucu akışkanlarda kullanılamaz
Kapasite arttırılamaz	Kapasite arttırılabilir

Lehimli plakalı ısı değiştiricilerin **avantajları** aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Kompakt yapıları sayesinde tasarımda geniş bir ürün yelpazesi sağlamaktadır.
- Conta kullanılmaması nedeniyle daha geniş ısı transfer alanı oluşturmaktadır.
- Daha az çalışma akışkanına ihtiyaç duyar. Bu durum maliyeti düşürmektedir.
- Daha yüksek ısı transfer katsayısına imkân verdiği için, düşük debide çalışma imkânı sunmaktadır. Bu da kapasitesi daha düşük pompa kullanım imkânı verdiği için enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Yüksek basınç uygulamalarında kullanım imkânı oluşturur.

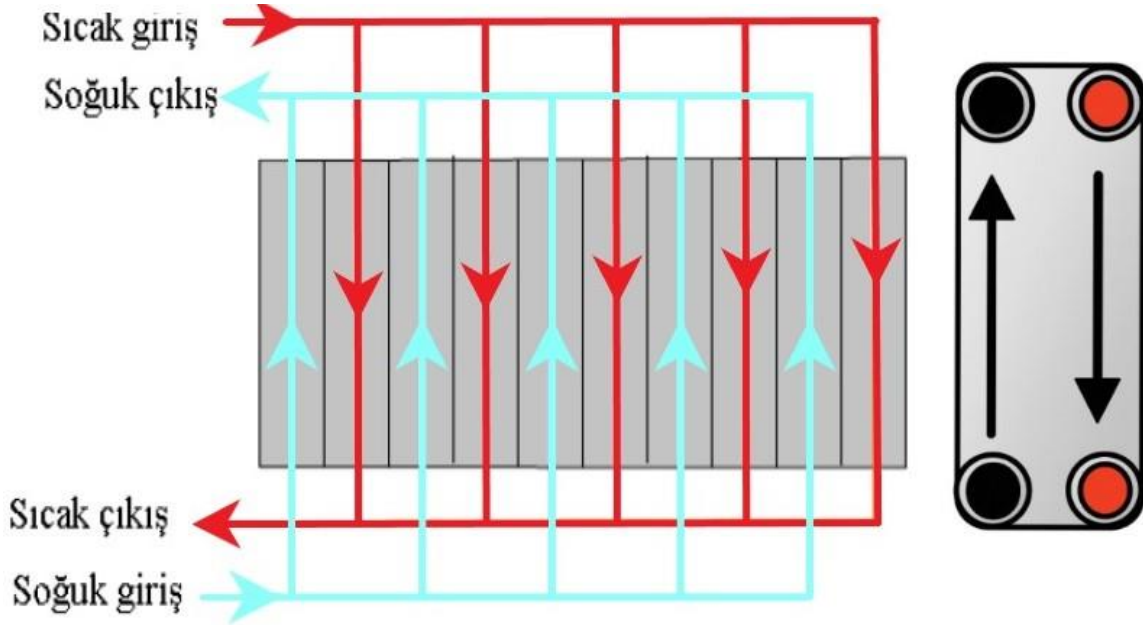
Plakalı Eşanjörün Yapısı



Şekil 43. Plakalı eşanjörün yapısı.

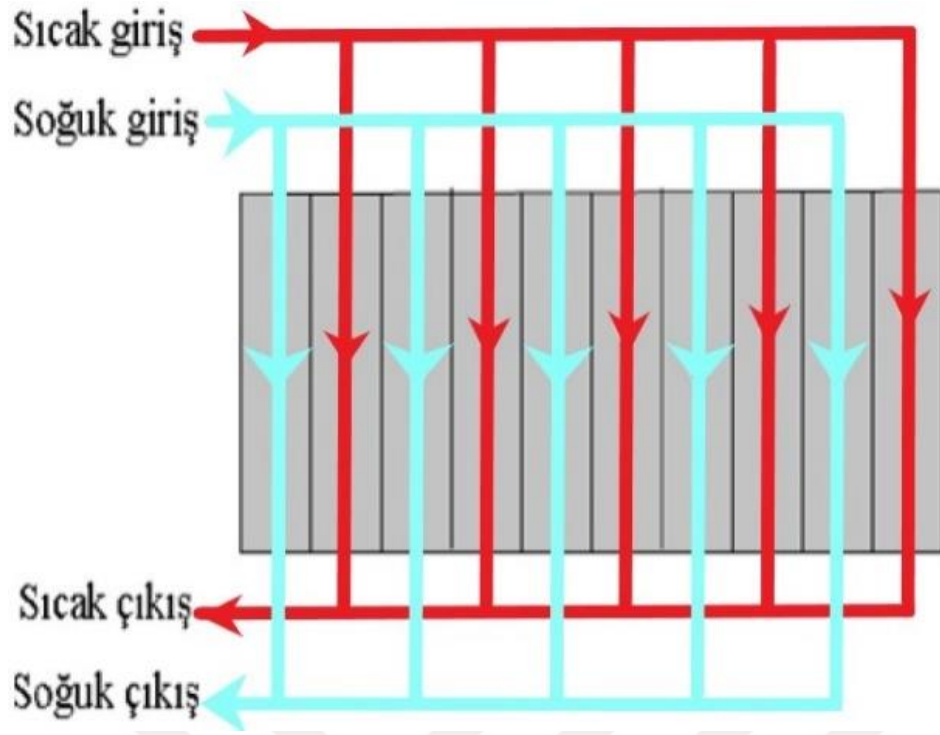
Aynı Yönlü ve Zıt Yönlü Akışlı Bakır Plakalı Isı Değiştirici Eşanjörleri

Şekil 44'te zıt yönlü ve Şekil 45'te aynı yönlü akışlı olmak üzere ısı değiştiricilerde iki akış şekli mevcuttur. Zıt yönlü akış ısı transferi açısından aynı yönlü akışa göre daha üstündür. Bakır plakalı ısı eşanjörüne iki akışkan aynı noktadan girmekte kanal içerisinde birbirine paralel zıt yönde akmaktadır. Bakır plakalı Isı değiştiriciden de aynı noktadan çıkmaktadır. Deney sistemimizde zıt yönlü akışlı eşanjör kullanılmıştır (Genç, 2014).



Şekil 44. Deney düzeneğinde kullanılan zıt akışlı eşanjör (Genç, 2014).

İki akışkan birlikte bir noktadan plakalı ısı değiştiriciye girmekte ve kanal içerisinde birbirleriyle aynı yönde akmakta ve aynı noktadan plakalı ısı değiştiriciden çıkmaktadır.

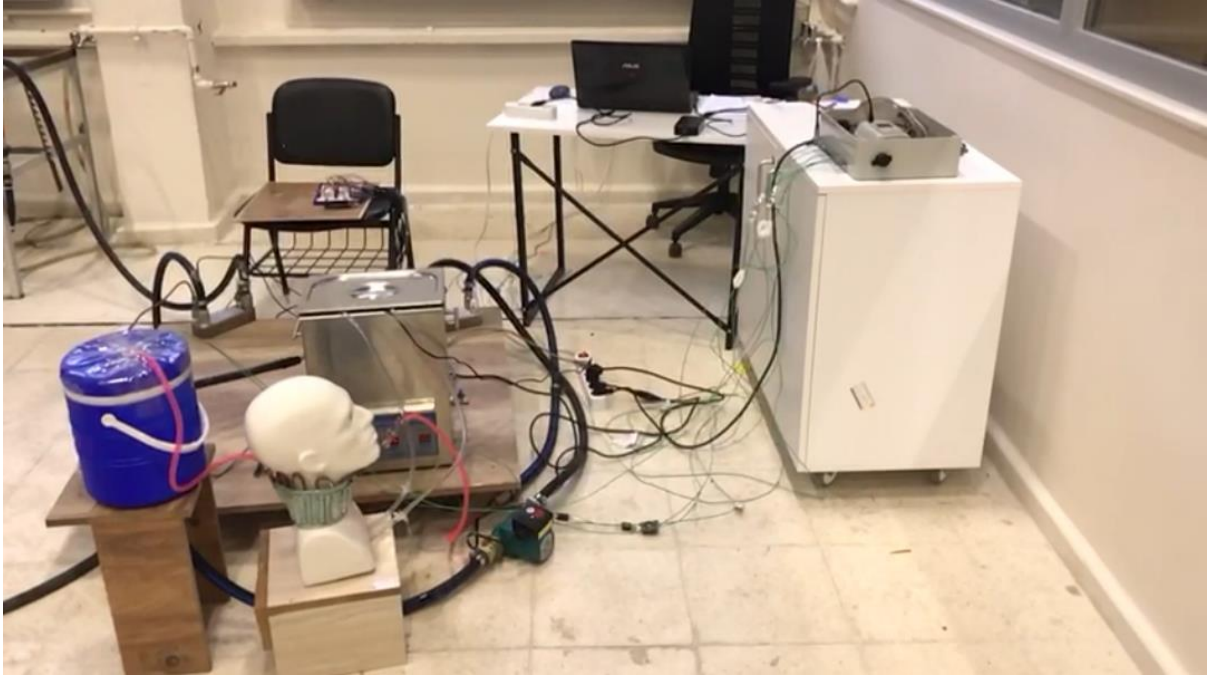


Şekil 45. Aynı yönlü akışlı eşanjör (Genç, 2014).

MATERYAL ve YÖNTEM

Deney Sistemi

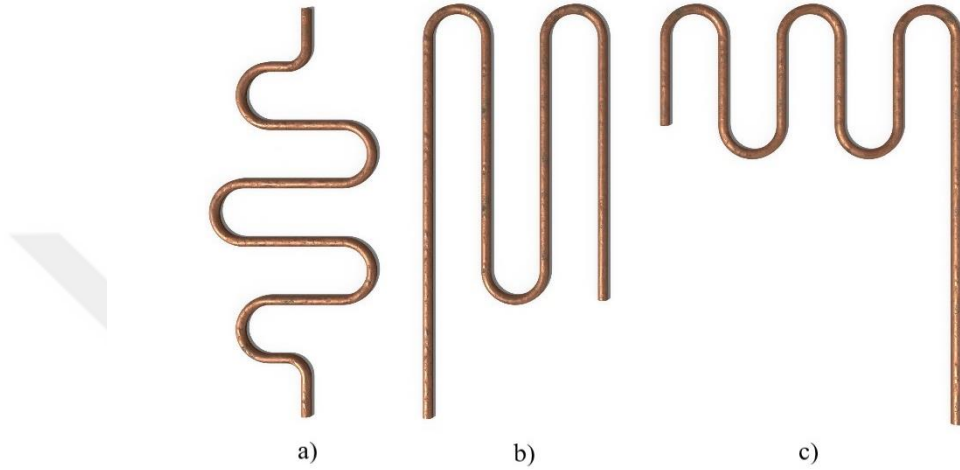
Atatürk Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isı Transferi Laboratuvarında normal vücut ısısını koruyarak santral sinir sistemi hipotermisi sağlayan cihaz modeli geliştirilmesi konu başlıklı bu çalışmada, boyun bölgesinde soğutma işlemi yapılması amaçlanmıştır. Amaç beyne giden kanın soğutulmasıdır. Bu amaç doğrultusunda bir deney düzeneği sistemi oluşturulmuştur. Şekil 46’da bu deney düzeneğinin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 46. Deney sisteminin genel görüntüsü.

Şekil 46’da görülen deney sisteminde iki çevrim gerçekleşecek şekilde tasarlanmıştır. Çevrimlerden birincisi soğutma çevrimi, ikinci çevrim ise insan baş bölgesinde ki soğutma işlemidir. İlk çevrim yani soğutma çevriminde şebeke suyu hortumlar ile debimetreye bağlanmıştır. Debimetrede belirlenen parametre değerleri 150, 200, 250 L/h’dir. Debimetre içinden geçen su, lehimli bakır plakalı ısı değiştiricisine girmektedir. Soğutma çevrimi ana elamanı olan kondenser de yani lehimli bakır plakalı ısı değiştiriciye, kompresörden çıkan soğutucu akışkan (R134a) soğutma çevrimi içinde dolaşan R134a ile su plaka içerisinde ısı transferi gerçekleştirmektedir. Şebeke suyu lehimli bakır plakalı ısı değiştiriciden yani kondenserdan soğutma çevrimini tamamlamak için atılan ısıyı alarak gidere vermektedir. Kondenserdan kılcal boruya geçen soğutucu akışkan (R134a) evaporatör olarak seçilmiş olan

diğer lehimli bakır plakalı ısı değıştirciye girmektedir. Evaporatörden kompresöre geçen soğutucu akışkan soğutma çevrimini tamamlamış olur. Evaporatörde yani lehimli bakır plakalı ısı değıştircide ısı transferi yaparak antifrizle ısı alış veriş sonucu soğuk antifriz bakır borudan geçirilmektedir. Bağlantı boruları ile evaporatörden soğutulmuş antifriz boyun bölgesinde bulunan bakır borulara aktarılmaktadır. Şekil 47’de görülen insan boyun bölgesine dışardan yerleştirilen farklı 3 farklı geometriye sahip bant geometrisi içinden geçerek boyun bölgesinde ki damarları soğutmaktadır.



Şekil 47. a) Çapraz bant geometrisi, b) Uzun bant geometrisi c) Kısa bant geometrisi.

İkinci çevrimde ise sıcak su banyosuna su konulmuştur. Bu sıcak su banyosu 36,5°C sıcaklığa ayarlanmıştır. Şekil 48’de verilen küçük bir pompa ile su şeffaf borulardan geçirilerek boyun bölgesine iletilmektedir. 6 mm’lik çapa sahip şeffaf borudan geçirilmiş 36.5°C de ki su soğutma bölgesine girmeden bir termokopul ile sıcaklığı ölçülmektedir. Soğutulmuş antifrizle kontrol hacminde yani boyun bölgesinde ısı transferinden sonra başka bir termokopul ile sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Soğutma işleminden sonra şeffaf boru içerisinde bulunan su sıcak su banyosuna geri aktarılmaktadır. Soğutma sistemi ile oluşturulan ΔT sıcaklık farkı tablo olarak deney sonuçlarında verilmiştir. Bu şekilde deney düzeneğinde damarlarda yapılan soğutma işlemi ile ikinci çevrim tamamlanmış olmaktadır.



Şekil 48. Su pompası ve şeffaf boru.

Boyun bölgesinden geçen damarın yani şeffaf borunun içinden geçen suyun debisi mini bir vana ile ayarlanmıştır.



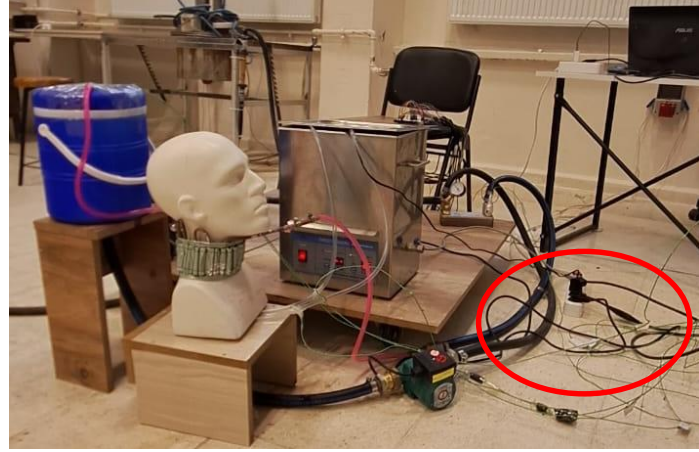
Şekil 49. Boyun bölgesi kan debisi miktarı ayarlama vanası ve deney sisteminde görünümü.

Alüminyum levhanın bir yüzünde Şekil 48’de verilen şeffaf boyular, diğer yüzünde ise bant geometrisi Şekil 47’de verilen bakır boyular yapıştırılmıştır.



Şekil 50. Boyun bölgesi kontrol hacmi görüntüsü.

Termokupllar ile şeffaf boruların soğutma yapılmadan önce ve sonra ki sıcaklıkları ölçülmüştür. Sıcak su banyosundan çıkan su, bakır borular ile temas eden alüminyum levhaya girmeden önce sıcaklık değeri ölçülmüştür. Sıcak su banyosun $36,5^{\circ}\text{C}$ 'ye ayarlanmış olup bir termokupla ölçüm yapılmıştır. Antifriz tankının bulunduğu kabın sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. Evaporatör ve kondenser sıcaklıkları şebeke suyunun sıcaklığı ve ısı değiştiriciden çıktıktan sonra ki sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Sistemden elde edilen sıcaklık farkları tablo RSM Deney Planı ve Elde Edilen Sonuçlar kısmında verilmiştir.

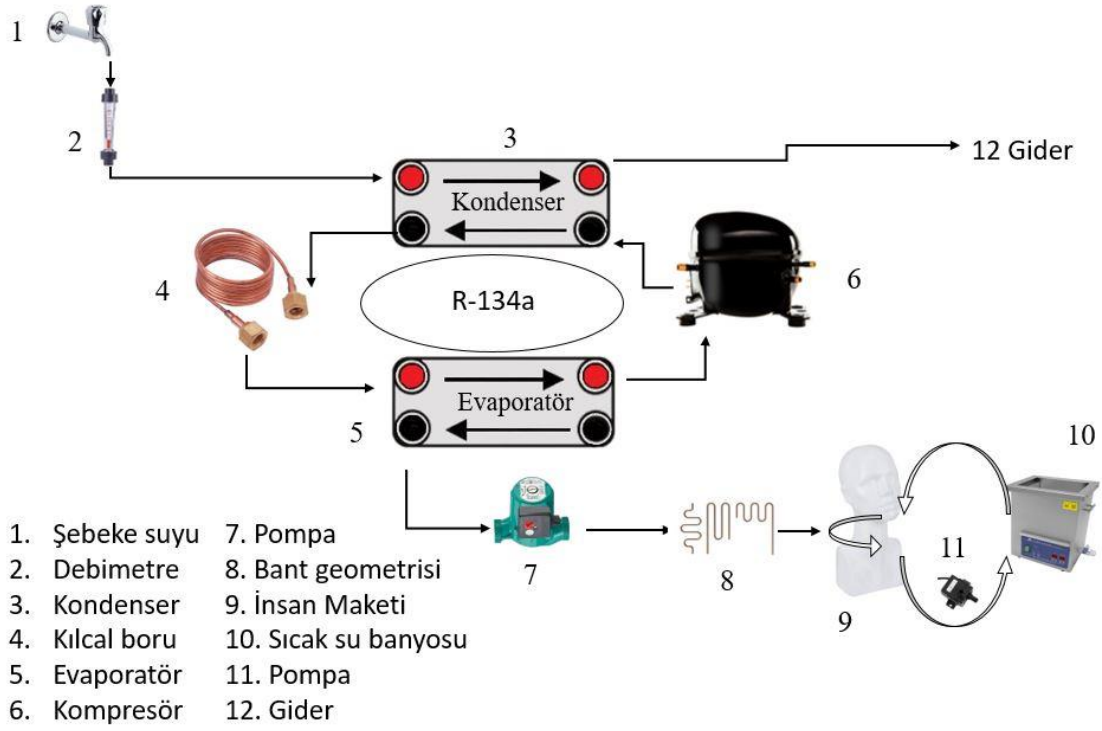


Şekil 51. Deney sistemine bağlı termokopullar.

Deney düzeneğinde kullanılan Şekil 52’de verilen antifriz -56°C ’ye kadar düşebilmektedir. Deney düzeneğinde bir kap içerisinde muhafaza edilmektedir.



Şekil 52. Deney sisteminde kullanılan antifriz.



Şekil 53. Deney sistemi şeması.

Tablo 2. Deney sisteminde kullanılan debi miktarları

Deney sistemi şeması numaralandırması	Debi Miktarları
2 Kondenser Debisi Miktarları	150, 200, 250 L/h
3-4-5-6 Arası Soğutma Çevrimi R 134 a Soğutucu Gaz Debisi	225 gram
7 Evaporatör Debisi Miktarları	30, 40, 50 L/h
9-10 Arası Damar İçinden Geçen Debi miktarı	350 L/h

Şekil 53'te deney sisteminin şematik görünüşü gösterilmiştir. Tablo 2'de ise bu deney şemasından geçen debi miktarları verilmiştir.



Şekil 54. Everest ultrasonik clean-ex-N1211 sıcak su banyosu.

Şekil 54’de verilen Everest ultrasonik Clean-EX-N1211 yıkama makineleri, hastanelerde, medikal sektör ve bakım amaçlı kullanılan çeşitli kapasiteli tek kazanlı cihazlardır.

Everest ultrasonik Clean-EX-N1211 Genel Özellikleri

Paslanmaz çelik gövde ve kazandan üretilmektedir. Ultrasonik zamanlayıcı kontrolü ve rezistanslar termostat kontrolünde çalışmaktadır. Ek olarak yan tarafında su gideri mevcuttur. Üzerinde bulunan gösterge panelinden kazan içindeki akışkanın sıcaklık ayarı yapılmaktadır. Deneyler sırasında bu sıcaklık sağlıklı bir insanın kanının olması gereken sıcaklığı yani 36,5°C olacak şekilde ayarlanmıştır.

Debi Ölçer (LZS-15)



Şekil 55. Lzs-15 debi ölçer.

Su akışını ölçmek için kullanılan Şekil 55'te verilen plastikten yapılmış debi ölçerin, ölçü akış aralığı 60-./h'dir. Akış ölçer şamandıra plastik kabuktan yapılmıştır. Plastik kabuktan yapılmış olmasının avantajı asit ve alkali korozyon direncine karşı iyi bir dirence sahip olmasıdır. Kullanım alanı kimyasal, petrol, hafif sanayi, ilaç, kimyasal gübre, kimyasal elyaf, gıda, çevre koruma ve bilimsel araştırma bölümlerinde kullanılır. Ayrıca debi ölçerin çalışma basıncı: $\leq 0.6\text{Mpa}$ değerinde iken çalışma sıcaklığı: $0-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve ağırlığı 135 gramdır. Deneyler sırasında 150, 200, 250 L/h olmak üzere 3 farklı debi değeri kullanılmıştır.

Kompresör

Soğutma sisteminde sıkıştırma, emme, basma işlemini yaparak soğutucu akışkanın yani R 134a gazının kondenserde yüksek basınç altında ısınıp atması sonucu buhardan sıvıya, evaporatörde alçak basınç altında ısı alarak sıvıdan buhar fazına geçmesini sağlayan ana elemandır.

Kompresörde bir tane servis hattı, küçük çaplı basma hattı, bağlatın yapıldığı eşanjöre kondenser, büyük çaplı boru emme hattı, bağlantı yapıldığı eşanjöre evaporatör denir. Kondenser olmasına karar verdiğimiz eşanjörü kompresörün basma hattına bağlantısının yapılması gerekmektedir. Kompresör emme hattına evaporatör eşanjörüne bağlantı yapılır. Bu bağlantılarda hortum kullanılmaz bakır borular kullanılmalıdır.



Şekil 56. Deney sisteminde kullanılan kompresör.

Evaporatör

Genleşme elemanında basıncı düşürülmüş soğutucu akışkanın ortamdan ısı alarak sıvıdan buhar fazına geçtiği ana elemandır. Bir ucu kompresör emme hattına diğer ucu genleşme elemanına bağlanır.



Şekil 57. Evaporatör olarak seçilen bakır plakalı ısı değıştirici.

Kondenser

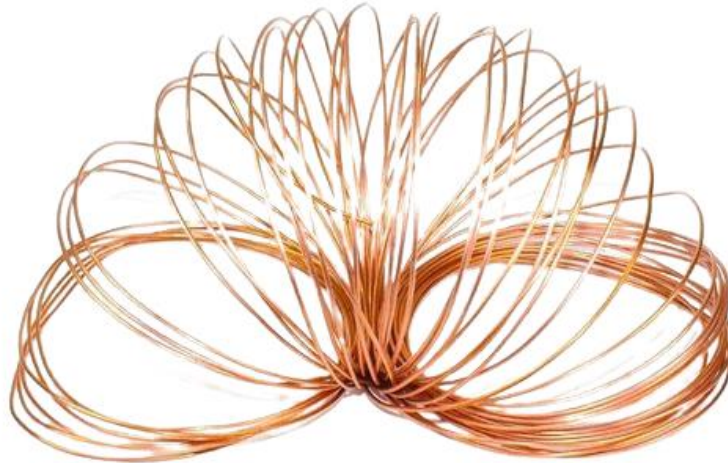
Soğutucu akışkanın evaporatörde aldığı ısı ile kompresörde sıkıştırma işleminden aldığı ısının ortama atılarak buhardan sıvı fazına geçtiği ana elemandır. Bir ucu kompresör basma hattına diğer ucu genleşme elemanına bağlanır.



Şekil 58. Kondenser olarak seçilen bakır plakalı ısı değıştirici.

Genleşme elemanı

Yüksek basınç hattından yani kondenserden alçak basınç hattına yani evaporatöre geçmek isteyen soğutucu akışkanın basıncını düşürerek akışını düzenleyen ana elemandır. Deney düzeneğimizde genleşme elemanı olarak kılcan boru kullanılmıştır. Kılcal borunun bir ucu kondensere diğer ucu ise evaporatöre bağlıdır.



Şekil 59. Deney sisteminde genleşme elemanı olarak kullanılan kılcal boru.

Gözetleme camı

Soğutucu akışkanın sıvı veya buhar faz takibinin yapıldığı elemandır. Soğutucu akışkanın hangi fazda ve hat üzerinde takibi yapılacaksa bağlantısı da o hat üzerinde yapılmaktadır.



Şekil 60. Gözetleme camı.

Ara Vana

Soğutucu akışkanı istenilen noktada durdurmaya veya giriş ve çıkış hattında ara vanalar kullanıldığı eşanjör üzerinde akışkanın depolanmasına imkân veren soğutma sistemi yardımcı elemanlarıdır.



Şekil 61. Ara vana.

Drayer (kurutucu fitre)

Soğutucu akışkanı fitre eden ve kurutan yardımcı elemandır. Genellikle kondenser ile genleşme elemanı arasına bağlantısı yapılır.



Şekil 62. Drayer.

Analog manifold

Manifold üzerinde askı aparatı, metal gövde, soğutucu akışkanın takibinin yapıldığı gözetleme camı, alçak basınç vanası ve bağlantı hattı, yüksek basınç vanası ve bağlantı hattı, vakum vanası ve bağlantı hattı soğutucu akışkan tüp vanası ve bağlantı hattı bulunmaktadır.

Mavi renkte alçak basınç bağlantı hortumu, kırmızı renkte yüksek basınç bağlantı hortumu, sarı renkte vakum pompası ve soğutucu akışkan bağlantı hortumu bulunmaktadır. Bu bağlantı hortumların 45 derece açılı uçları servis bağlantı hattı açmak üzere iğnelidir. Her iki ucunda da sızdırma olmasın diye conta bulunmaktadır.



Şekil 63. Analog manifold.

Basınç ölçüm saati

Ülkemizde basınç değerleri genellikle bar türünden ifade edilmektedir. Basınç ölçüm saati içinde yer alan çizelgeler en içten dışa doğru kırmızı çizelge basınç birimi standarttı 1 bar = 14 psi'dır. R 134a soğutucu akışkanı yeşil çizelge, R22'nin mavi çizelge kaynama sıcaklığını okumamıza imkân vermektedir. Deney düzeneğinde gaz dolaşım sisteminin, alçak basınç kısmını (dönüş) okuyacak şekilde sisteme bağlanmıştır.



Şekil 64. Basınç ölçüm saati.

Soğutucu akışkan.

Bir soğutma çevriminde ısıнын bir ortamdan alınarak başka bir ortama iletilmesinde taşıyıcı olarak kullanılan akışkanlara soğutucu akışkanlar denilmektedir. Isı alışverişini genellikle sıvı halden buhar haline evaporatörde, buhar halden sıvı hale kondenserde dönüşerek gerçekleştirmektedir.

Soğutucu Akışkanlarda İstenen Özellikler

Soğutma sistemin hava sızması ile havanın getirdiği su buharının soğuk kısımlarda donması ile arızalara sebebinin önlemek için buharlaşma basıncı çevre basıncından bir miktar yüksek olması istenmektedir. Yoğuşma basıncının düşük istenmesinin sebebi kompresör, kondenser ve bakır boru hattı yüksek basınca dayanaklı olmalıdır. Buharlaşma gizli ısı yüksek olmalıdır. Yüksek olması sistemin verimini soğutucu akışkan miktarına bağlı olarak artıracaktır. Bakır boru hattından geçen akışkanın paslanma ve yağlanma özelliği olmaması için kimyasal olarak aktif olmaması gerekir. Yanıcı patlayıcı ve zehirli olmamalıdır. Kaçakların kolay bulunmasına imkân vermeli ve ucu olmalıdır. Birim zamanda fazla ısı taşıyabilmesi için ısı transfer özelliğinin yüksek olması istenmektedir. Elektrik geçirgenliği olmamalıdır. Isı atma işlemi sırasında soğutucu akışkanın katılaşmaması için donma sıcaklığı düşük olmalıdır. Gazların yoğuşarak sıvı hale dönemediği kritik sıcaklık değeri yüksek olmalıdır. Sistemde az yer kaplaması bakımından özgül hacmi küçük olmalıdır. Kompresörün akışkanı rahat bir şekilde dolaştırabilmesi için viskozitesi düşük olmalıdır.

Deney sisteminde kullanılan soğutucu akışkan R134a'dır (DEMİR & ADIGÜZEL, 2023). R134a renksiz ve inert gazdır. 1,1,1,2-Tetrafloretan tam adıdır. Moleküler formülü CH_2FCF_3 şeklindedir. Taşıt araçlarının iklimlendirme donanımları, konut tipi soğutucularda kullanılmaktadır.



Şekil 65. R134-a Soğutucu akışkan.

Hassas terazi

Deney düzeneğinde sisteme soğutucu gaz transfer etmek için Şekil 66’da verilen hassas terazi kullanılmıştır. 0 gram ile 25 kilogram arasında ölçüm yapabilmektedir. Sisteme yaklaşık olarak 225 gram R134a gazı aktarılmıştır.



Şekil 66. Hassas terazi.

Bakır boru

Genellikle ısıtma soğutma ve iklimlendirme sistemlerinde kullanılan borular bakırdan yapılmaktadır. Bu borular istenilen yüksek korozyon direnci, şekillendirme, birleştirme,

tekniklerine yatkınlık, yüzey kalitesi, ısı iletkenliği gibi temel özellikler bakır borularda mevcuttur. Soğutma ve iklimlendirme sistemlerinde kullanılmak için piyasada tercih edilen bakır borular yumuşak ve sert çekilmiş olmak üzere iki farklı çeşidi vardır. Yumuşak çekilmiş bakır borular daha çok ev ve ticari tip soğutucular ile iklimlendirme sistemlerinde tercih edilmektedir. Yumuşak bakır borular tavlanmış oldukları için kolay bükülebilir, kıvrılabilir ve çap genişletilmesine uygundur. Sert çekilmiş bakır borular ısıtma ve sıhhi tesisatlar da daha çok tercih edilmektedir. Sert çekilmiş bakır borular belirli standart uzunluk ölçülerinde kullanılmaktadır. Bu borular kıvrılamazlar tesisatında ki gerekli bükülmeler ve yön değişiklikleri çeşitli ara bağlantıları ile yapılmaktadırlar. Bakır borular rutubeti alınmış içleri azot gazı ile doldurulmuştur. Her iki ucu temiz ve sızdırmazlığı sağlayan plastik tapa ile kapatılmıştır. Bakır borunun bir kısmı kesildiğinde tekrar uç kısmına tapa takılarak depolanmalıdır.



Şekil 67. Bakır boru.

Bakır boru makasları

Bakır boruların kesilmesi aşamasında çelik ve plastik boruların kesilmesine kıyasla daha dikkatli olunması gerekmektedir. Bakır boruların et kalınlıkları az ve yumuşak olduğu için ezilmeler ve boru çaplarında daralmalar meydana gelebilmektedir. Ezilme ve çap daralmaları boruların birleştirilmesinde sorun oluşturabilmektedir. Bu yüzden bakır borular kesilirken düz pürüzsüz ve çap geometrisi bozulmadan kesilmelidirler. Bakır boruların kesilmesinde bakır boru makasları tercih edilmelidir. Bu makaslar sabit ve hareketli olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Sabit çene üzerinde borunun yerleştirileceği iki adet silindir bulunmaktadır. Hareketli kısımda ise ucunda kesici elmas bulunan ve dikey olarak hareket edebilen bir mil yardımıyla farklı çaptaki boruları kesmek için kullanılır. Ayrıca bakır borularda oluşan

apakları temizlemek için makasın sırtında bulunan akı ile temizlenmektedir. Dar alanlarda küçük çaplı boruları kesmek için mini bakır boru makası (b), kılcal bakır boruların çap daralması olmadan kesilmesi için de kılcal boru makasları (c) kullanılmaktadır.



Şekil 68. Bakır boru kesme aletleri.

Bakır boruların rakorlu birleştirilmelerinde havşa setleri kullanılmaktadır. Havşa ise bakır borunun u kısımlarını huni şeklinde genişletme işlemidir. Bu sette genellikle boru sabitleme mengenesi, sıkma çenesi ve havşa konisi bulunmaktadır. Sabitleme mengenesi iki adet kelebek somon yardımıyla boruların sıkıştırılmasında kullanılmaktadır. Sabitleme mengenesinin bir yüzeyinde boruların çap yuvaları ve havşa derinlikleri bulunmaktadır.



Şekil 69. Bakır boru havşa ve muf açma seti.



Şekil 70. Bakır boruya havşa açma işlemi.

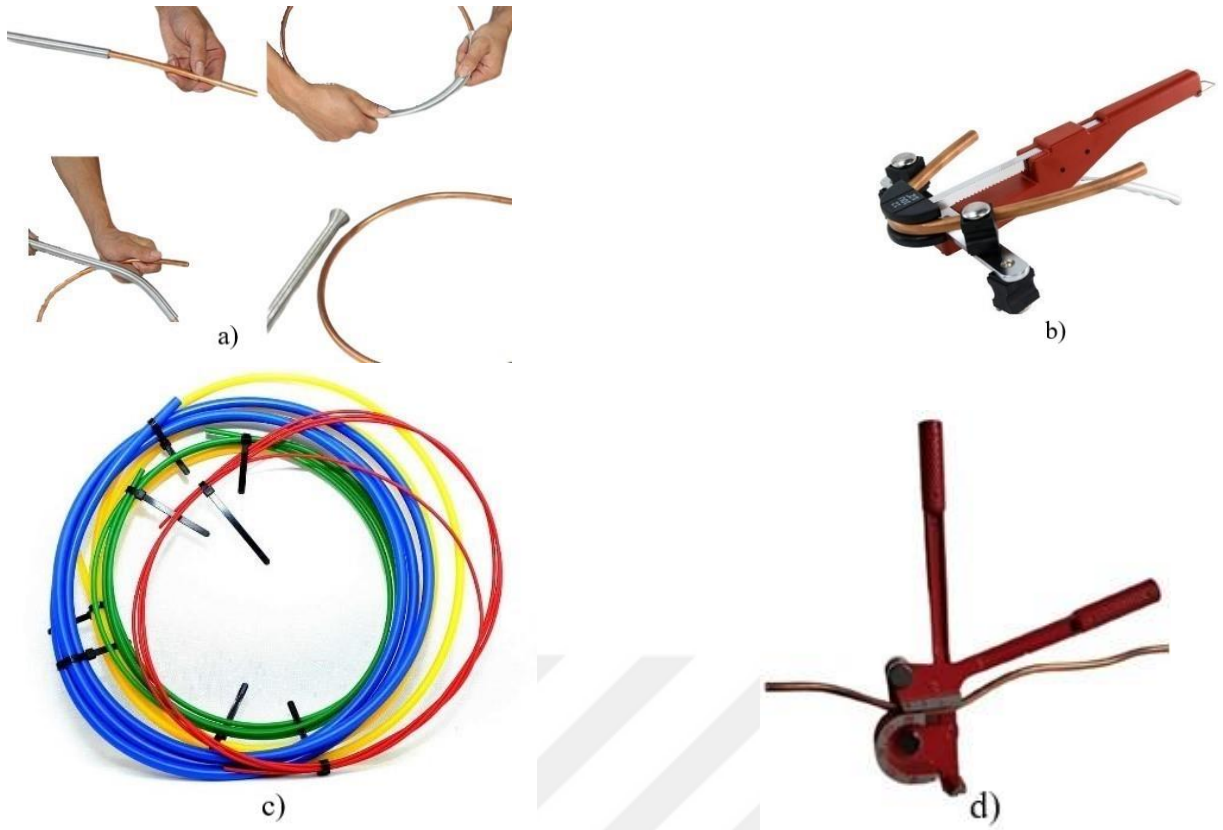
Aynı çap ölçüsüne sahip boruların lehimle birleştirilebilmesi için boru çapının düzgün bir şekilde çapının dış çap ölçüsüne genişletilmesi işlemine muf açma denilmektedir. Birleştirilmesi düşünülen parçalardan birinin iç çapı dış çap ölçüsünde şişirilmektedir. Bu işlem için kullanılan alete zımba denilmektedir. Çıkma çenesinde bulunan havşa konisi çıkarılır ve zımba takılır.



Şekil 71. Bakır borulara muf açma işlemi.

Bakır boruların bükülmesi

Bakır boruların çapında daralma olmadan bükme işlemleri yapmak gerekebilir. Bükme işlemleri için bükme yayı, bükme pensleri, boru iç çapına göre üretilmiş dolgu silikon ve kollu bükme aletleri ile yapılmaktadır. Deney düzeneğinde bakır boruların bükülmesi için kollu bükme aleti kullanılmıştır.



Şekil 72. Bakır boru bükme yayı (a), bükme pensi (b), dolgu silikon (c), kollu bükme aleti (d).

Bakır boruların lehim ile birleştirilmesi

Sökülemeyen birleştirmelerin tercih edildiği kısımlarda sabit bağlantı olarak kullanılmaktadır. Bu birleştirmeler ile sağlamlık, yüksek dayanım, titreşime karşı dayanım, paslanmaya karşı dayanım ve sızdırmazlık gibi üstün özelliklere sahiptir. Lehim işlemi kaynaktan farklı olarak birleştirilecek metallerin erimelediği, birleştirmek için kullanılan ilave metalin erimesiyle birleştirmenin yapıldığı işlemdir. Yumuşak ve sert olmak üzere iki türlü yapılmaktadır. Sert lehimde ilave tel olarak pirinç tel kullanılmaktadır. Piyasada diğer ismi ile sarı kaynakta denilmektedir. 450 °C sıcaklık altında yapılan lehimler yumuşak, 450 °C sıcaklık üstünde yapılan lehimler ise sert lehim uygulamasıdır. Sert lehim genel olarak yüksek çalışma basınçlarında kullanılan tesisat sistemlerinde kullanılan lehimleme yöntemidir. Sert lehimde kullanılan pirinç teller 590-650°C sıcaklıklarda erirken, bakır borular yaklaşık 1083°C'de erimektedirler. Sert lehim için ihtiyaç duyulan ısı çeşitli yanıcı ve yakıcı gazların bir araya getirilmesi ile yapılabilmektedir. Ancak en yaygın olarak oksijen asetilen kaynağı kullanılmaktadır. Sağlam ve sızdırmaz birleştirme için parçalar birbirine tam temas etmeli ve parçalar arası boşluklar eşit olmalıdır. Parça yüzeyleri de iyi temizlenmelidir. Deney sisteminde birleştirme ve sızdırmazlık için borulara sert lehim uygulaması yapılmıştır. Deney setinde kaynak setinde mavi tüp oksijen, beyaz tüp ise propan ile doldurulmuştur. Kaynak alevi için

önce oksijen vanası sonrasında asetilen gazı açılmalıdır. Sonra ateş ile gaz karışımı alev aldırılmalıdır. Sert lehim uygulamalarında oksijeni fazla sert alev tercih edilmelidir.



Şekil 73. Boruların lehim ile birleştirilmesi.

Sıcak su sirkülasyon pompası

Elektrik enerjisini hidrolik enerjiye dönüştürerek sıvıları (veya gazları) mekanik güçle hareket ettiren cihazlara pompa denilmektedir. Pompalar sıvıyı hareket ettirmek için kullandıkları yöntemlere göre pompalar direkt kaldırma, yer değiştirme ve yerçekimi pompaları olarak üç gruba ayrılmaktadır.

Mekanik pompalar, otomobillerde soğutma ve yakıt enjeksiyonu, enerji sektöründe petrol pompalama gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Ek olarak sağlık endüstrisinde, ilaç geliştirme ve imalatındaki biyokimya işlemlerinde ve özellikle yapay kalp ve çeşitli organlarda kullanılmaktadır. (<https://tr.wikipedia.org/wiki/Pompa>)

Deney düzeneğinde kullanılan su sirkülasyon pompasında 3 kademeli kontrol anahtarı bulunmaktadır. En düşük 30L/h, orta debi hızında 40L/h, en yüksek debi hızında ise 50L/h'tir.



Şekil 74. Deney sisteminde kullanılan su sirkülasyon pompası.

Veri Kaydedici Cihazlar

Deney düzeneğinde sıcaklık ölçümleri için Şekil 75’te verilen Novus Fieldlogger marka kullanılmıştır. Termokupl, Pt100, Pt1000, gerilim ve akım sinyallerini okuyabilen bu cihaz 8 yapılandırılabilir analog girişe, 2 röle çıkışı ve ayrı ayrı giriş veya çıkış olarak yapılandırılabilen 8 dijital bağlantı noktasına sahiptir.

Alınan veriler üzerinde işlem yapabilme, çevrimiçi izleme, günlük verileri indirme ve hesap tablolarına ve diğer formatlara dışa aktarma için imkânlar sağlamaktadır. Aynı zamanda sıcaklık, basınç, nem gibi ölçümleri yapabilmek için uyumlu ek sensörleri de bulunmaktadır.



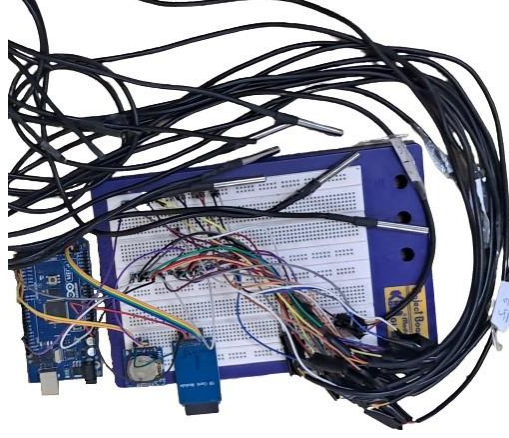
Şekil 75. Veri kaydedici.

Tablo 3. Veri Kaydedici Özellikleri

Parametre	Özellik
Analog Giriş	8 adet termočift (Termokupllar, V, mV, mA, Pt100 ve Pt1000)
Hassasiyet	$\pm 0,15$
Röle	2 adet
RS485	Modbus protokolü
Desteklenen Protokol ve Servisler	TCP/IP, DHCP, http, SMTP, SNMP, Modbus RTU, Modbus TCP, FTP sunucu ve client.
Dâhili Hafıza	2 MB
SD Kart	16 MB
Çalışma	0...50°C
Güç Besleme	220 V AC 50 HZ
Ölçüler	16,5x11,7x7 santimetre
HART® Sıcaklık Vericisi	TxIsoRail-HRT, kanıtlanmış HART® sertifikası kalitesini NOVUS cihazlarının sağlamlığı ile birleştirir. Verici, HART® sertifikalı cihazlarla uyumludur.

Ayrıca şebekeden gelen yüksek basınçlı suyun sıcaklığını ölçmek için 12 kanallı kendi tasarımı olan veri kaydedicide deney düzeneğinde kullanılmıştır. Veri kaydedici tasarımı içerisinde 1 arduino mega mikro denetleyicisi, SD kart modülü, Real Time Clock (RTC) modülü, 1 adet bread board ve 12 adet DS18B20 sıcaklık sensörü yer almaktadır. Bu sıcaklık sensörü -55 ile +125°C arasında ölçüm yapabilmektedir. -15°C’den +85°C’ye $\pm 0,5$ °C hassasiyetinde ölçüm alabilmektedir. Sistemin çalışma gerilimi 5 volt DC’dir. Çalışma gerilimi

bilgisayarda yer alan USB portu ile sağlanmaktadır. Bu bağlantı ile bilgisayara veri gönderilerek sıcaklık verileri bilgisayar vasıtasıyla takip edilebilmektedir. Aynı zamanda SD kart modülü ile txt uzantılı dosyaya da veri kaydedilmektedir.



Şekil 76. Veri kaydedici.

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Deney Planı ve Yanıt Yüzey Yöntemi

Deney planı hazırlanırken MINITAB 19 analiz programı kullanılmıştır. Değişken parametreler analiz programına girilmiş olup yanıt yüzeyi yöntemi ile yapılacak olan deney sayısı faktöriyel dizaynda 81 iken central composite dizayn kullanılarak 60'a düşürülmüştür.

Yanıt yüzeyi yöntemi (YYY), Box & Wilson tarafından ilk defa 1951 yılında “Optimum Koşulların Deneysel Elde Edilmesi Üzerine” başlığı altında yapmış olduğu deneysel çalışmaların sayısını, tam faktöriyel deneylerin sayısına kıyasla azaltılmasını sağlamıştır (Box & Wilson, 1992).

Yanıt yüzeyi yöntemi (YYY), tüm bağımsız değişkenleri dikkate alan ve sonunda bir çıktının teorik değerini verebilecek bir dizi denklem bulmak için deneyden gelen veri girdisini kullanan bir regresyon analizi yoluyla uygun bir deneysel tasarım geliştirir (Said & Amin, 2015).

YYY regresyon modeli denklemlerini çalışma koşullarında ki parametreleri tanımlamak için deneylerden elde edilen ölçülebilir verileri kullanan istatistiksel bir tekniktir (Zahangir et al., 2007).

Yanıt yüzeyi yöntemi (YYY) literatürde ısı pompaları (Kaneko et al., 2020), jeotermal enerji kaynakları (Pratama & Supijo, 2020), malzeme bilimi (Hariri-Ardebili et al., 2018), ısı eşanjörleri (Ali et al., 2019), alternatif yakıtların verimliliğinin iyileştirilmesi ve karakterizasyonu (Helmi et al., 2021), (Yusri et al., 2018), geometrik parametrelerin optimizasyonu (Behzadnia et al., 2021), çarpan jetle ısı transferinde geometrik parametrelerin sayısal optimizasyonu (ÖZAKIN & YEŞİLDAL) ile ilgili alanlarda kullanılarak deneysel çalışmalara destek verilmiştir.

Deneysel çalışmaların sonlanması ile, deney parametreleri ile reaksiyonlar arasındaki matematiksel ilişki hesaplanmaktadır ve optimal proses parametrelerini belirlemek için optimizasyon yapılır (Karaoglan & Celik, 2016).

Bu çalışmada, yanıt yüzeyi yöntemine dayalı olarak elde edilen deney planına uygun olarak tamamlanmış ve elde edilen matematiksel model deneysel verilerle doğrulanmıştır. Deney düzeneğinde etkili olan parametreler, evaporatör debisi, kondenser debisi, kılcal boru uzunluğu ve bant geometrisi olmak üzere 4 gruptan oluşmaktadır.

Bunlardan birisi kategorik (bant geometrisi) diğer üçü ise sürekli değişkendir. 4 grubun her birinde 3'er değişken parametre mevcuttur. Aşağıdaki tablo 3' te 1 grubun içinde bulunan 3'erli gruplar verilmiştir.

Tablo 4. Parametrelerin Değişken Seviyeleri

Parametre	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Evaporatör Debisi (L/h)	30	40	50
Kondenser Debisi (L/h)	150	200	250
Kılcal Boru Uzunluğu (m)	2	2,5	3
Bant Geometrisi	Uzun	Kısa	Çapraz

Konvansiyonel deney tasarım yöntemlerinden tam faktöriyel tasarım ile $3^4 = 81$ analiz yapmak yerine, parametreler arasındaki kompozit etkilerin de incelenemediği Merkezi Kompozit Tasarım Yüz Merkezli (CCDFC) kullanılarak sadece 60 deney yapılmıştır. Sıralı deneyler gerektiğinde Merkezi Kompozit Tasarımın kullanımı yararlıdır.

Tablo 4'de verilen 4 parametrenin etkilerini inceleyebilmek için Yanıt yüzeyi yöntemi (YYY) kullanılmıştır. Bu çalışmada çeşitli deneysel faktörlerin etkinlik katsayısına (COP) ve ΔT sıcaklık farkı üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Bu çalışmada yanıt değişkeni (veya hedef fonksiyonu) olarak COP ve ΔT belirlenmiştir.

MINITAB 19 programında deney planı analizleri yapılmıştır. Yanıt yüzey yöntemi ikinci dereceden bir polinom ifadesi aracılığı ile N değişkeninin birlikteliğinden oluşmaktadır. $X_1, X_2, X_3, X_4 \dots, X_n$ ile yanıt değişkeni Y, açıklayıcı değişkenler veya faktörler arasındaki gerçek ilişki;

$Y = f(X_1, X_2, X_3, X_4 \dots, X_n) + \epsilon$ formülü ile ifade edilebilir. Burada f bilinmeyen gerçek yanıt fonksiyonu ve hata terimidir. YYY'nin asıl amacı deney düzeneği ve istatistiksel analizler yoluyla faktörler ve yanıtlar arasında yaklaşık bir fonksiyon oluşturmaktır. Yanıt yüzey yöntemi deneysel tasarım, matematiksel modelleme, model doğrulama olmak üzere 3 aşamadan oluşmaktadır. Yanıt yüzey yönteminde veri toplama aşamasının iyi planlanması gerekmektedir. Az sayıda deney yapmak ve maksimum miktarda bilgi etmek deneysel tasarımın amacıdır (Alizadeh & Sadrameli, 2018). Bu çalışmada deneysel plan olarak istatistiksel deneysel tasarım yöntemlerinden biri olan ve karesel modellerin oluşturulmasında en iyi sonuçları veren (Montgomery, 2017) Merkezi Kompozit Tasarım Yüz Merkezli (CCDFC) kullanılmıştır. Tablo 6'da kombinasyonlar oluşturulmuş ve ölçülen yanıt için varyans analizi (ANOVA) kullanılarak değerlendirilmiştir. Deneylerin uygunluk kalitesi, belirli bir belirleme katsayısı ve değişim kaynakları kullanılarak %95 kesinlikle p değerine göre reddedilir

veya seçilir. Ayrıca model doğrulaması için çeşitli test yöntemleri uygulaması yapılmalıdır. Düzeltilmiş regresyon katsayısının (Düzeltilmiş R^2) veya regresyon katsayısı (R^2), regresyon analizinde hipotez testlerinin uygulanması ve regresyon katsayılarında hipotez testlerinin bireysel olarak uygulanması artık analiz test yöntemlerine örnek olarak verilebilir (Elbaş, 2018).

MINITAB programında katagorik kodlamada değişkenleri dâhil etmek için (0, 1) veya (-1, 0, +1) kodlama şekli kullanılmaktadır. (0, 1) şeması regresyon ve Cox regresyon analizleri için tercih edilmektedir. (-1, 0, +1) kodlaması ise ANOVA ve DOE için kullanılmaktadır. Aşağıda deney düzeneğinde ANOVA için hazırlanmış tablo verilmiştir. Kodlama şekli, katsayıları ve bunların nasıl yorumlanacağını değiştirmektedir.

Tablo 5. Deney Düzeneğinde ANOVA İçin Gösterim Şeması

Deney No	Evaporatör Debisi L/h	Kondenser Debisi L/h	Kılcal Uzunluğu (m)	Boru Bant Geometrisi
1	0	0	-1	-1
2	1	1	1	0
3	0	0	0	-1
4	0	0	0	-1
5	0	0	0	1
6	0	1	0	0
7	1	-1	1	-1
8	-1	-1	-1	0
9	-1	-1	1	1
10	0	0	0	1
11	0	0	0	1
12	0	0	1	0
13	0	0	0	0
14	0	0	-1	1
15	0	-1	0	-1
16	1	-1	1	0
17	0	0	0	-1
18	0	0	0	0
19	-1	1	1	0
20	0	0	0	-1
21	-1	0	0	-1
22	-1	-1	-1	-1
23	0	0	0	1
24	-1	-1	1	0
25	0	0	1	1
26	0	0	0	1
27	0	0	0	-1
28	1	-1	1	1

Tablo 5. (Devamı)

29	-1	1	-1	0
30	-1	1	-1	1
31	1	-1	-1	0
32	0	-1	0	1
33	-1	1	1	-1
34	1	0	0	1
35	0	0	0	0
36	1	1	-1	1
37	0	1	0	1
38	1	1	-1	0
39	1	0	0	-1
40	0	0	0	1
41	-1	0	0	1
42	-1	-1	-1	1
43	0	-1	0	0
44	1	1	-1	-1
45	0	0	0	-1
46	1	-1	-1	1
47	1	1	1	1
48	0	0	0	0
49	0	0	1	-1
50	1	-1	-1	-1
51	1	0	0	0
52	0	0	-1	0
53	0	0	0	0
54	-1	1	1	1
55	-1	0	0	0
56	1	1	1	-1
57	-1	-1	1	-1
58	0	1	0	-1
59	-1	1	-1	-1
60	0	0	0	0

Tablo 6. RSM Deney Planı ve Elde Edilen Sonuçlar

Deney No	Evaporatör Debisi (L/h)	Kondenser Debisi L/h	Kılcal Boru Uzunluğu (m)	Bant Geometrisi	COP	ΔT
1	40	200	2	Uzun	1,886	1,199
2	50	250	3	Kısa	1,483	1,115
3	40	200	2,5	Uzun	1,479	1,009
4	40	200	2,5	Uzun	1,524	1,102
5	40	200	2,5	Çapraz	1,413	0,884
6	40	250	2,5	Kısa	1,464	0,602
7	50	150	3	Uzun	1,608	0,819

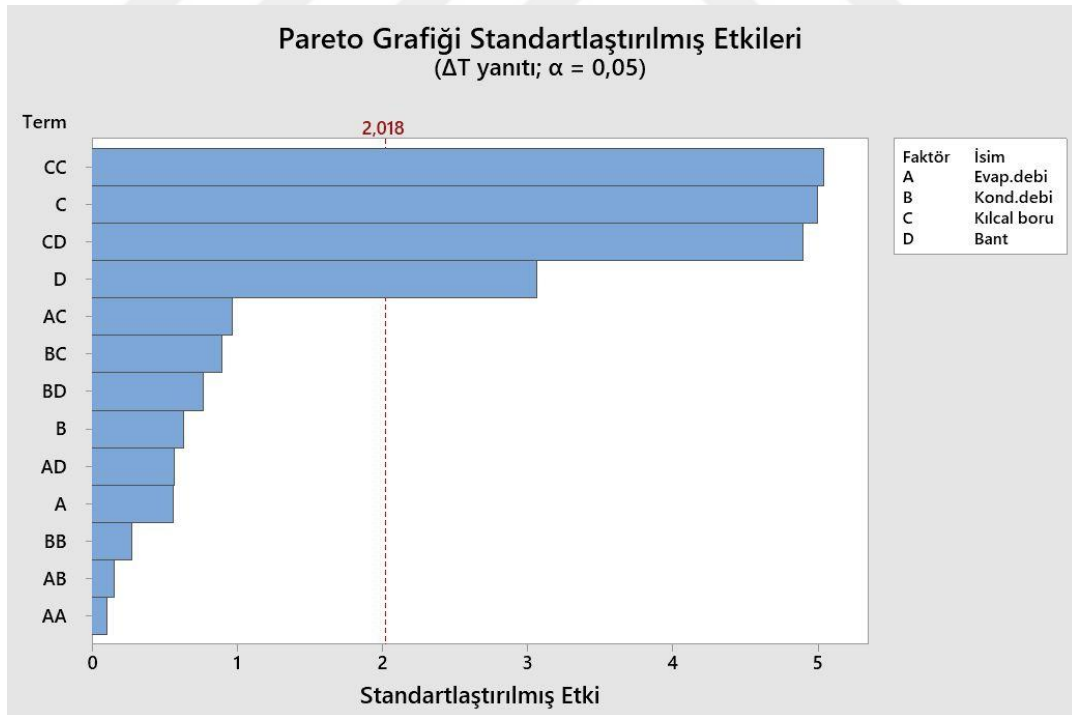
Tablo 6. (Devamı)

8	30	150	2	Kısa	1,315	1,355
9	30	150	3	Çapraz	1,791	0,863
10	40	200	2,5	Çapraz	1,497	0,712
11	40	200	2,5	Çapraz	1,509	0,703
12	40	200	3	Kısa	1,675	1,064
13	40	200	2,5	Kısa	1,456	1,177
14	40	200	2	Çapraz	2,060	2,551
15	40	150	2,5	Uzun	1,361	1,166
16	50	150	3	Kısa	1,832	1,016
17	40	200	2,5	Uzun	1,357	1,133
18	40	200	2,5	Kısa	1,141	0,633
19	30	250	3	Kısa	1,490	1,146
20	40	200	2,5	Uzun	1,533	1,130
21	30	200	2,5	Uzun	1,345	1,077
22	30	150	2	Uzun	1,592	1,266
23	40	200	2,5	Çapraz	1,459	0,784
24	30	150	3	Kısa	1,388	0,977
25	40	200	3	Çapraz	1,700	0,880
26	40	200	2,5	Çapraz	1,453	0,817
27	40	200	2,5	Uzun	1,523	1,150
28	50	150	3	Çapraz	2,214	0,901
29	30	250	2	Kısa	1,694	1,775
30	30	250	2	Çapraz	1,782	2,517
31	50	150	2	Kısa	1,770	1,611
32	40	150	2,5	Çapraz	1,512	0,862
33	30	250	3	Uzun	1,292	0,950
34	50	200	2,5	Çapraz	1,529	0,930
35	40	200	2,5	Kısa	1,448	0,633
36	50	250	2	Çapraz	1,992	2,542
37	40	250	2,5	Çapraz	1,359	0,835
38	50	250	2	Kısa	1,974	2,004
39	50	200	2,5	Uzun	1,486	1,128
40	40	200	2,5	Çapraz	1,482	0,805
41	30	200	2,5	Çapraz	1,290	0,888
42	30	150	2	Çapraz	1,866	2,008
43	40	150	2,5	Kısa	1,452	0,844
44	50	250	2	Uzun	1,981	1,194
45	40	200	2,5	Uzun	1,419	0,994
46	50	150	2	Çapraz	1,724	2,414
47	50	250	3	Çapraz	1,770	1,037
48	40	200	2,5	Kısa	1,498	0,794
49	40	200	3	Uzun	1,335	0,878
50	50	150	2	Uzun	2,040	1,221
51	50	200	2,5	Kısa	1,588	0,793
52	40	200	2	Kısa	1,933	1,638
53	40	200	2,5	Kısa	1,456	1,157
54	30	250	3	Çapraz	1,393	0,886

Tablo 6. (Devamı)

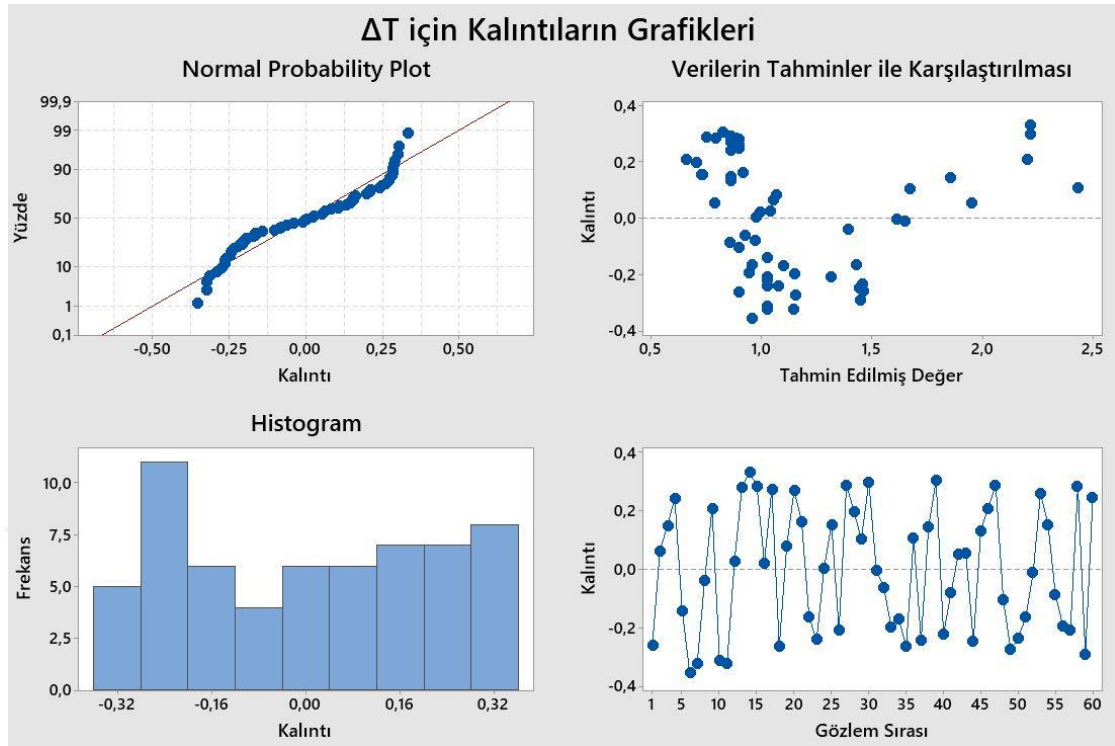
55	30	200	2,5	Kısa	1,345	0,768
56	50	250	3	Uzun	1,668	0,748
57	30	150	3	Uzun	1,155	1,109
58	40	250	2,5	Uzun	1,387	1,075
59	30	250	2	Uzun	1,826	1,157
60	40	200	2,5	Kısa	1,456	1,144

Pareto grafiği deney sistemine etki eden parametrelerin etkilerinin büyüklüğünü ve ana, kare etkilerinin istatistiksel önemi arasında kıyaslama yapabilmek için kullanılmaktadır. Deney düzeneğinde etki eden parametreleri en büyük etkiden azalan mutlak değerler sırasına göre çizilmektedir. Pareto grafiğinde bulunan kırmızı renkli çizgi yani referans çizgisi hangi parametrelerin etkili olduğunu göstermektedir. Bu kırmızı renkli referans çizgisini geçen herhangi bir etki istatistiksel olarak önemlidir. Yani kullanılmış olan model istatistiksel olarak 0.05 düzeyinde anlamlıdır. Şekil 77'de ki Pareto ΔT grafiğinde evaporatör debisi (A), kondenser debisini (B), kılcal boru uzunluğu (C), bant geometrisi ise (D) harfi ile gösterilmiştir. Grafikte ayrıca (CD),(AC) ikili gösterimler de mevcuttur. Bu ikili gösterim ise bileşik etkiyi ifade etmektedir. Örneğin grafikteki (CD), kılcal boru ve bant geometrisinin bileşik etkini ifade etmektedir.

**Şekil 77.** Pareto Grafiği.

ΔT sıcaklık farkı için kılcal boru uzunluğunun en büyük etkiye sahip olduğu (C) görülmektedir. Bu grafikte kılcal boru ve bant geometrisinin bileşik etkisinin de olduğu görülmektedir. Ancak evaporatör debisi ve kondenser debisinin ΔT sıcaklık farkı için

etkilerinin olmadığını söylemek ifadesi yanlış bir kullanımdır. Hangi etkilerin yanıtı artırdığı veya azalttığı söylenemez.



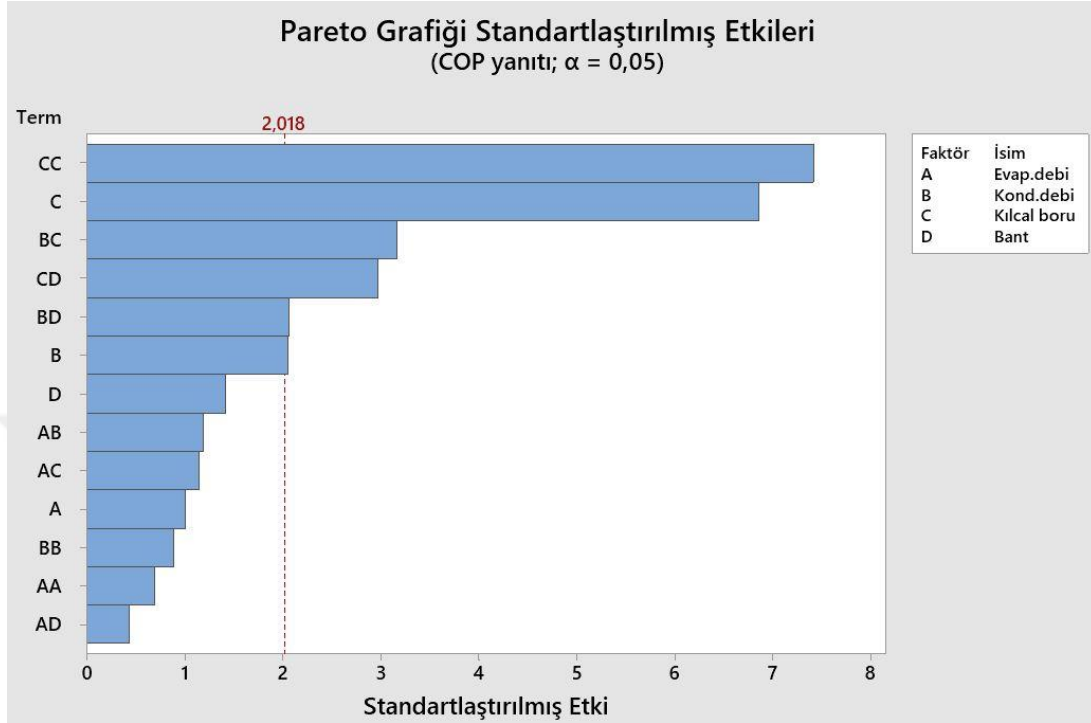
Şekil 78. Kalıntı Grafiği.

Normal olasılık grafiğinde bulunan ortogonal çizgi deney düzeneğinden alınan değerlerin ve sayısal analiz sonuçlarının örtüştüğü noktaları temsil etmektedir. Ortogonal çizgiden uzaklaşmış değerler deney düzeneğinden alınan değerler ile sayısal analiz arasında bir fark olduğu anlamına gelmektedir.

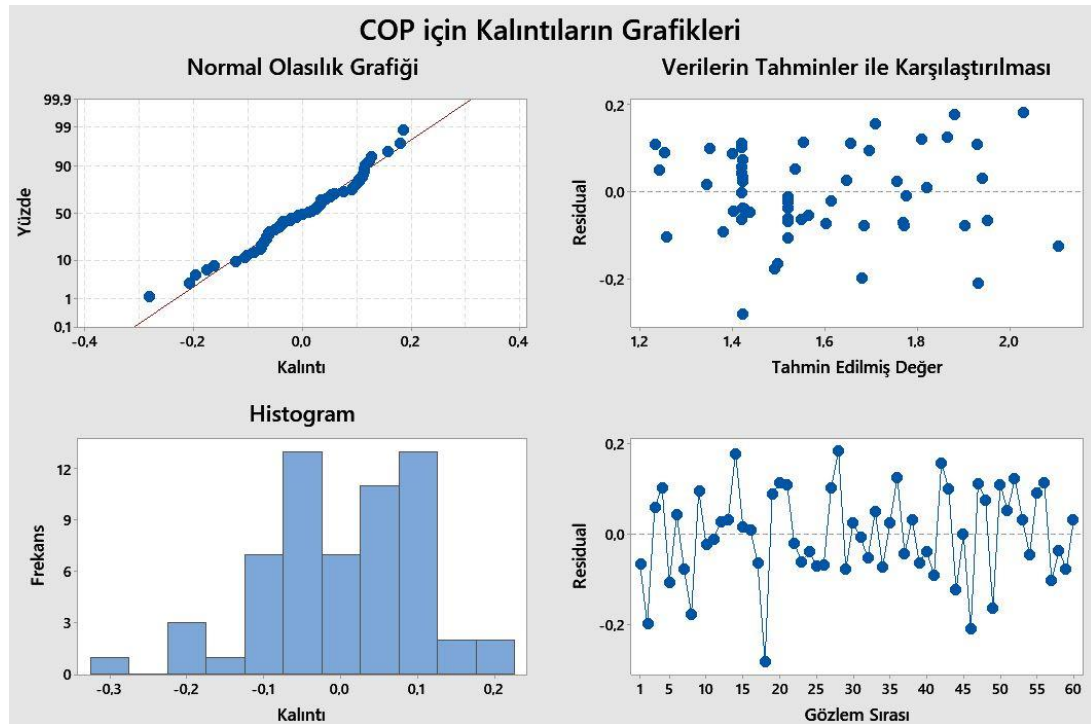
Şekil 78’de modelin verdiği sonuçlar ile sayısal analiz sonuçların arasında ki uyumun iyi olduğu göstermektedir. Kalıntı eksenine karşı gözlem sırasını gösteren grafikte, deney planında 60 deney için oluşturulan model ile deneyler arasındaki farkı gösteren artık değerler gösterilmiştir. Sıfır ekseninin üstünde kalan pozitif artık değer, model tarafından verilen değer deneyden elde edilen değerden daha küçük olduğunu göstermektedir. Sıfır ekseninin altında kalan artık değer negatif ise, modele göre değer ve sayısal analiz değerinin birbirine yakın olduğunu ifade etmektedir. Artıkların pozitif veya negatif değerde olmaları modelin parametrelerle ilişkisinin güçlü olduğunu göstermektedir. Ek olarak sayısal analiz değerlerinin de birbirine yakın olduğunu göstermektedir.

Şekil 79’teki Pareto COP etkinlik katsayısı için oluşturulmuş grafikte evaporatör debisi (A), kondenser debisi (B), kılcal boru uzunluğu (C), bant geometrisi ise (D) harfi ile gösterilmiştir. Bu grafikte (CC), (BC), (CD), (BD) ikili gösterimlerde mevcuttur. Bu ikili gösterimler ise bileşik etkiyi ifade eder. Örneğin grafikteki kılcal boru uzunluğu (CC),

evaporatör debisi (A), bant geometrisinin (D), ve aynı zamanda kondenser debisi-bant geometrisi (BD) bileşik etkisi, kılcal boru uzunluğu-bant geometrisi (CD), kondenser debisi-kılcal boru uzunluğu (BC) bileşik etkilerinin kırmızı renkli çizgi yani referans çizgisini geçen istatistiksel olarak kullanılmış olan model 0.05 düzeyinde anlamlıdır.



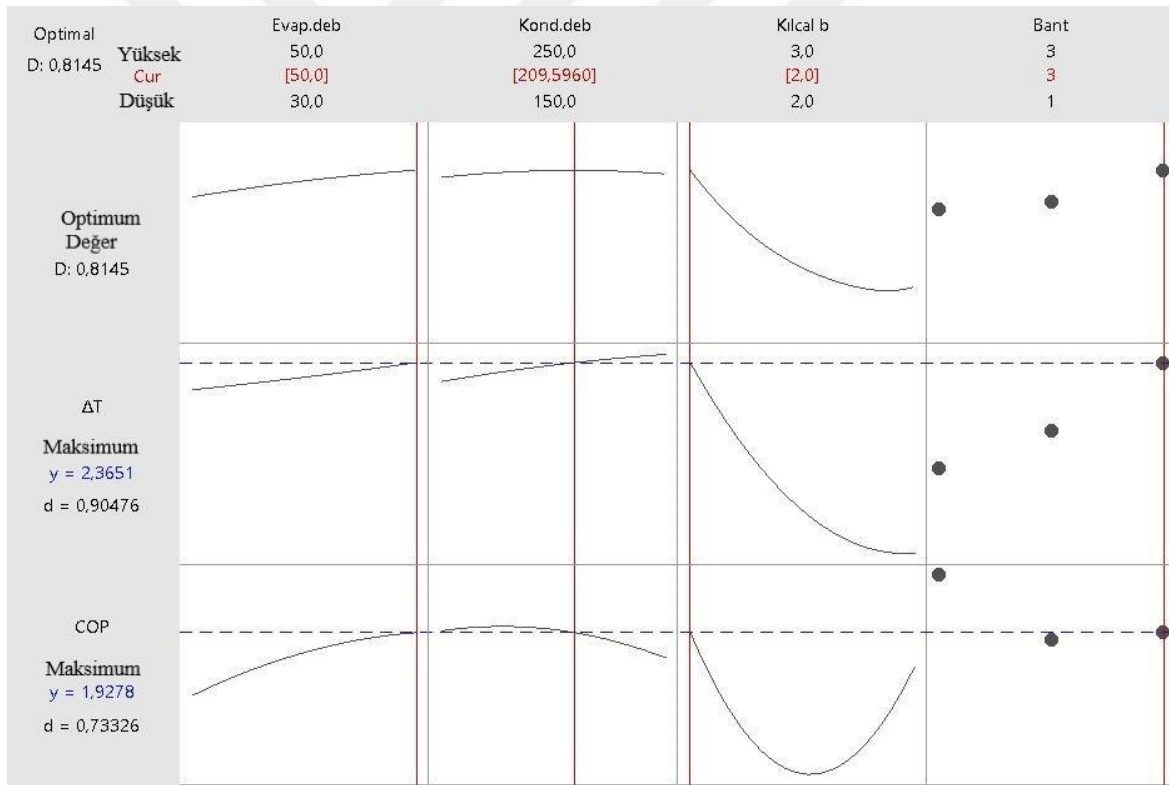
Şekil 79. Pareto COP etkinlik katsayısı.



Şekil 80. Kalıntı Grafiği.

Normal olasılık grafiğinde artıkların (kalıntıların) normal dağıldığı varsayımını doğrulamak için artıkların normal olasılık grafiğini kullanmak gerekir. Kalıntıların normal olasılık çizimi yaklaşık olarak düz bir çizgi izlemelidir. Ortogonal çizgi hattından uzakta bulunan birkaç noktanın anlamı, aykırı değerler içeren bir dağılım anlamına gelmektedir. Yani ortogonal çizgiden uzaklaşmış değerler deney düzeneğinden alınan değerler ile sayısal analiz arasında bir fark olduğu anlamına gelmektedir. Ortogonal çizgiden uzak değerler normal bir dağılım izlemiyorsa yani çizgiden uzak durmalarının nedeni güven aralıkları veya p değerleri hatalı olabilir.

Residuals versus order grafinde noktalardaki örüntüler, birbirine yakın artıkların ilişkili olabileceğini ve dolayısıyla bağımsız olmadığını gösterebilir. İdeal olarak, çizimdeki artıklar merkez çizgi etrafında şekildeki gibi rastgele düşmelidir. 15-20 arasında çizgiden uzakta bulunan noktalar var ise bu değişken sistemi bir şekilde etkilediğinden analize dâhil edilmek zorundadır.



Şekil 81. Optimizasyon grafiği.

Şekil 81’ de görülen değerler için D-optimalite kriteri kullanılmıştır. ΔT için 2,3651 en yüksek optimizasyon değeri için ‘d’ değerini 0,90476 olarak vermiştir. COP etkinlik katsayısı için en yüksek değeri 1,9278, ‘d’ değeri için 0,73326 olarak elde etmiştir. Optimum değer ‘D’ 0,8145’tir. Bu ‘D’ değeri maksimum hedef fonksiyon değeri demektir. Hedef fonksiyonun optimum değerinin modelden elde edilebilecek maksimum değere oranını temsil etmektedir. Şekil 81’de optimal olarak hesaplanan değerlerin parametreler ile kesişmesini göstermektedir.

Tablo 7. Optimum Değerler

Parametreler	Optimum Değerler
Evaporatör Debisi	50 L/h
Kondenser Debisi	209,596 L/h
Kılcal Boru Uzunluğu	2 m
Bant Geometrisi	Çapraz

Yanıt yüzeyi yöntemi (YYY) ile deney sistemine etki eden parametrelerin amaç fonksiyonuna etkileri bulunabilir. Bulunan matematiksel model kullanılarak performans özellikleri arasında bağlantı oluşturulabilmektedir. Bu analiz sonucunda ise ΔT ve COP etkinlik katsayısı için matematiksel modeller elde edilmiştir. Yanıt modeli oluşturmak için ihtiyaç duyulan veriler Merkezi Kompozit Tasarım Yüz Merkezli (CCDFC) ile elde edilmiştir. Sistemden alınan doğrulama test verileri RSM ile elde edilen matematiksel model kullanılarak karşılaştırılmıştır. Aşağıdaki denklemler COP etkinlik katsayısı ve sıcaklık farkı (ΔT) için geliştirilmiş ikinci dereceden polinom modelini ifade etmektedir.

Regresyon katsayılarının kullanılması ile uygulanan çalışma koşulları bağımsız değişkenler ΔT ve COP etkinlik katsayısı üzerindeki etkileri araştırılır. ΔT için ANOVA tablosu ve COP etkinlik katsayısı için ANOVA tablosu istatistiksel analiz sonuçlarını göstermektedir. Optimum değerler alındıktan sonra yani evaporatör debisi 50L/h, kılcal boru uzunluğu 2m, bant geometrisi çapraz alınmıştır. Kondenser debisi 209,596L/h olarak verilmesine rağmen bu değeri sistemde ayarlanamadığı için yaklaşık 200-225L/h arasında bir değer alınmıştır. COP etkinlik sayısı 1.999 bulunmuştur. ΔT değeri ise 2,593 olarak ölçülmüştür.

Bant Geometrisi Uzun için

$$\Delta T = 11,21 + 0,202A + 0,0080B - 8,66C + 0,0089A \times A - 0,000010B \times B + 1,786C \times C - 0,00016A \times B - 0,100A \times C - 0,00186 B \times C$$

Bant Geometrisi Kısa için

$$\Delta T = 11,30 + 0,299A + 0,0106B - 8,97C + 0,0089 A \times A - 0,000010B \times B + 1,786 C \times C - 0,00016 A \times B - 0,100 A \times C - 0,00186B \times C$$

Bant Geometrisi Çapraz için

$$\Delta T = 13,63 + 0,314 A + 0,0105B - 9,85C + 0,0089A \times A - 0,000010B \times B + 1,786C \times C - 0,00016A \times B - 0,100A \times C - 0,00186B \times C$$

Bant Geometrisi Uzun için

$$COP = 7,54 + 0,249A + 0,01542B - 6,069C - 0,0285A \times A - 0,000015B \times B + 1,224C \times C - 0,000574 A \times B + 0,0550A \times C - 0,003060B \times C$$

Bant Geometrisi Kısa için

$$COP = 6,87 + 0,233A + 0,01532B - 5,779C - 0,0285A \times A - 0,000015B \times B + 1,224C \times C - 0,000574A \\ \times B + 0,0550A \times C - 0,003060B \times C$$

Bant Geometrisi Çapraz için

$$COP = 7,37 + 0,202A + 0,01301B - 5,727C - 0,0285A \times A - 0,000015B \times B + 1,224C \times C - 0,000574A \\ \times B + 0,0550A \times C - 0,003060B \times C$$

Tablo 6’de (RSM Deney Planı ve Elde Edilen Sonuçlar) ΔT ve COP etkinlik katsayıları en yüksek olan değerlerde genellikle bant geometrisi çapraz, kılcal boru uzunluğu 2 m, evaporatör debisi 50 iken bulunmuştur. Şekil 81’ de görülen değerlere de bakılınca deney düzeneğinde en etkili parametrelerin bant geometrisinin çapraz, kılcal boru uzunluğunun 2 m, evaporatör debisi 50 ve ek olarak kondenser debisinin 209,596 L/h olduğu görülmektedir.

Tablo 8. ΔT İçin ANOVA Tablosu

Kaynak	DF	SS Düzeltme	MS Düzeltme	F-Değeri	P-Değeri
Modeli	17	10,2751	0,60442	9,34	0,000
Doğrusal	5	5,2141	1,04283	16,12	0,000
Evaporatör debi	1	0,0178	0,01783	0,28	0,602
Kondenser debi	1	0,0440	0,04397	0,68	0,414
Kılcal boru	1	4,8502	4,85023	74,98	0,000
Bant	2	0,3021	0,15105	2,34	0,109
Kare	3	2,8707	0,95689	14,79	0,000
Evap.debi*Evap.debi	1	0,0007	0,00066	0,01	0,920
Kond.debi*Kond.debi	1	0,0050	0,00500	0,08	0,782
Kılcal boru*Kılcal boru	1	1,6448	1,64482	25,43	0,000
2-Yönlü etkileşim	9	2,1903	0,24337	3,76	0,002
Evap.debi*Kond.debi	1	0,0016	0,00157	0,02	0,877
Evap.debi*Kılcal boru	1	0,0603	0,06033	0,93	0,340
Evap.debi*Bant	2	0,0731	0,03653	0,56	0,573
Kond.debi*Kılcal boru	1	0,0520	0,05203	0,80	0,375
Kond.debi*Bant	2	0,1065	0,05325	0,82	0,446
Kılcal boru*Bant	2	1,8968	0,94840	14,66	0,000
Hata	42	2,7169	0,06469		
Uyum eksikliği	27	2,3180	0,08585	3,23	0,010
Saf Hata	15	0,3988	0,02659		
Toplam	59	12,9919			

Tablo 9. Model Özeti

S	R ²	Düzeltilmiş R ²	R ² (pred)
0,254336	79,09%	70,62%	53,37%

S değeri ne kadar düşükse, model yanıtı o kadar iyi tanımlar. Modelin verilerinize ne kadar iyi uyduğunu belirlemek için kullanılır. Başka bir istatistiksel karşılaştırma yöntemi Düzeltilmiş R² değeridir. R² değerinin yüksek olması, model verilerimizin de o kadar iyi olduğunu gösterir. R² her zaman %0 ile %100 arasındadır. Farklı sayıda öngörüye sahip modelleri karşılaştırmak istediğinizde düzeltilmiş R²'yi kullanmak gerekir. Düzeltilmiş R² değeri, doğru modeli seçmemize yardımcı olur (Myers et al., 1995). Modelimizin öngörü yeteneğini değerlendirmek için press'ı kullanılmalıdır. Genellikle, PRESS değeri ne kadar küçükse, modelin tahmin yeteneği o kadar iyidir.

Tablo 10. COP Etkinlik Katsayısı İçin ANOVA Tablosu

Kaynak	DF	SS Düzeltme	Düzeltilme MS	F-Değeri	P-Değeri
Modeli	17	2,67911	0,157595	11,22	0,000
Doğrusal	5	1,12972	0,225943	16,09	0,000
Evap.debi	1	0,55908	0,559078	39,81	0,000
Kond.debi	1	0,00015	0,000154	0,01	0,917
Kılcal boru	1	0,44157	0,441569	31,44	0,000
Bant	2	0,12892	0,064458	4,59	0,016
Kare	3	1,09662	0,365541	26,03	0,000
Evap.debi*Evap.debi	1	0,00670	0,006704	0,48	0,493
Kond.debi*Kond.debi	1	0,01096	0,010961	0,78	0,382
Kılcal boru*Kılcal boru	1	0,77190	0,771897	54,97	0,000
2- Yönlü etkileşim	9	0,45277	0,050308	3,58	0,002
Evap.debi*Kond.debi	1	0,01975	0,019754	1,41	0,242
Evap.debi*Kılcal boru	1	0,01814	0,018141	1,29	0,262
Evap.debi*Bant	2	0,01121	0,005607	0,40	0,673
Kond.debi*Kılcal boru	1	0,14041	0,140408	10,00	0,003
Kond.debi*Bant	2	0,09338	0,046690	3,32	0,046
Kılcal boru*Bant	2	0,16987	0,084937	6,05	0,005
Hata	42	0,58982	0,014043		
Uyum eksikliği	27	0,47118	0,017451	2,21	0,05
Saf Hata	15	0,11864	0,007909		
Toplam	59	3,26893			

Tablo 11. Model Özeti

S	R ²	Düzeltilmiş R ²	R ² (pred)
0,118504	81,96%	74,65%	50,75%

COP etkinlik katsayısı ve ΔT sıcaklık farkı içinde model özetlerinde bulunan sonuçların iyi olduğu anlaşılmaktadır. COP etkinlik katsayısında model özeti sonuçlarının ΔT sıcaklık farkı için model sonuçlarından daha iyi sonuç verdiği anlaşılmaktadır.

Bir YYY modeli, deneysel parametreler ile yanıt değişkeni arasındaki işlevsel ilişkiyi tanımlamaktadır. Yeterince tanımlayamadığı zaman bir uyumsuzluk görülür. Uyumsuzluk testi, seçilen modelin gözlenen verileri açıklamak için yeterli olup olmadığını belirlemek için tasarlanmıştır. Oluşturulan model ile deneysel verilerin etkileşimini belirlemek için p değeri, önem düzeyinizle karşılaştırılır. Bu çalışmada 0,05 anlamlılık düzeyi (alfa veya α olarak da adlandırılır) tercih edildi. Model için, 0,05'ten düşük ilişkili P değerleri, model terimlerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, 0,05'ten yüksek P değerleri ise model terimlerinin anlamsız etkilerinin olduğunu gösterir (Han et al., 2015). MINITAB, terimlerin ve modelin istatistiksel önemi hakkında karar vermek için kullandığımız p değerini hesaplamak için F değerini kullanmaktadır. P-değeri, sıfır hipotezine karşı kanıtları ölçen bir olasılıktır. Yeterince büyük bir F değeri, terimin veya modelin önemli olduğunu gösterir. Tablolara bakılırsa F değerleri yüksek ise P değerleri daha düşük olduğu görülmektedir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Sonuçlar

Bu çalışmada deneyler yanıt yüzeyi yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır ve analiz edilmiştir. Bu analiz sonuçlarından matematiksel modeller geliştirilmiştir. Bu matematiksel regresyon katsayılarının kullanılması ile uygulanan çalışma koşulları bağımsız değişkenler ΔT ve COP etkinlik katsayısı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. ΔT için ANOVA tablosu ve COP etkinlik katsayısı için ANOVA tablosu istatistiksel analiz sonuçları verilmiştir. Ayrıca bu matematiksel modeller kullanılarak cevapların bağımsız değişkenler ve etkileşimleri ile nasıl ilişkili olduğu değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen modellere ait R^2 , düzeltilmiş R^2 , R^2 (pred) özet değerleri model özeti tablolarında verilmiştir. Pareto grafiği çizilmiş ve grafiklerde yorumlanmıştır. Pareto grafiği girdi değişkenlerinin cevaplar üzerindeki etkileri hakkında istatistiksel bilgi sağlamaktadır. Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Yapılan optimizasyon analizi sonuçlarına göre evaporatör debisi 50L/h, kondenser debisi 209,596 (L/h), kılcal boru uzunluğu 2m, ve bant geometrisi çapraz olması durumunda en yüksek sıcaklık farkı değeri elde edilmiştir.
- Bu optimum şartlarda (evaporatör debisi 50L/h, kılcal boru uzunluğu 2m, bant geometrisi çapraz, kondenser debisi yaklaşık 200-225L/h arasında bir değer alınmıştır.) COP etkinlik sayısı 1.999, ΔT değeri ise 2,593 olarak ölçülmüştür.
- Çalışma sonuçlarına göre optimum şartlarda elde edilen COP yaklaşık 2.0 olarak belirlenmiştir. Yani çalışma sırasında hipotermi oluşturulurken damarlardan çekilen 1 birim ısı karşılığında 2 birim ısıtma yapılabilecektir. Fazladan gelen 1 birim ise kompresör tarafından sisteme giren iş sebebiyledir.
- Damarlardan alınan bu ısı, vücutta soğuk kan dolaşımının olumsuz durumlara yol açmasını engellemek amacıyla, ısıtılması gereken herhangi bir yere yönlendirilerek sistemin soğutma yaparken ısıtma yapabilmesi imkânını da sağlamaktadır.
- Sistemin kullanım aşamasında soğutma ihtiyacının fazla olmayıp ısıtma ihtiyacının fazla olması durumunda ise maksimum COP sağlayan; 50 l/h evaporatör debisi, 150 l/h kondenser debisi, 3 metre kılcal boru uzunluğu ve çapraz bant geometrisinin kullanıldığı deney şartlarının uygulaması gereklidir.
- Deney sonuçlarını içeren Tablo 6 incelendiğinde farklı ΔT ve COP bulgularına farklı

deney parametre seviyelerinin kullanılarak elde edildiği görülmektedir. Bu sonuçlar farklı anatomi yapılarında olan insanlarda kullanılabilir niteliktedir. Örneğin deneylerde kullanılan modelde ortalama insan deri-damar kombinasyonu için ısı iletim katsayısı olarak yaklaşık 0.19 W/mK baz alınmıştır. Deri kalınlığı ve damar geometrisi farklı olan bireyler için deney sonuçlarından elde edilen diğer seviyeler kullanılabilir niteliktedir.

Öneriler

Kılcal boru uzunluğunun seçilen seviyeler içerisinde en iyi performansı gösteren 2m uzunluğundaki kılcal boru olmuştur. Gelecekte yapılması muhtemel deneylerde 2m ve 2m'den daha kısa kılcal boru uzunlukları kullanılarak sistemden daha yüksek bir performans alınması olasıdır.

Boyun bölgesini soğutmak için kullanılan geometriler değiştirilerek soğutmaya etkileri incelenebilir. Örneğin optimum şartları sağlayan seviyelerde, seviye aralıkları farklılaştırılarak optimum sonuçlar daha ileri seviyelere taşınabilecektir.

Sistemde kullanılan R134'a soğutucu akışkan yerine daha farklı yeni teknolojiye sahip bir soğutucu akışkan kullanılarak sistem performansı tekrar değerlendirilebilir.

Şebekede kullanılan su debi parametreleri değiştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2023a. <https://patents.google.com/patent/CN2073738U/en?q=CN2073738U>, Patent No: CN2073738U
- Anonim, 2023b. <https://patents.google.com/patent/CN2160369Y/en?q=CN2160369Y>, Patent No: CN2160369Y
- Anonim, 2023c. <https://patents.google.com/patent/CN2251987Y/en?q=CN2251987Y>, Patent No: CN2251987Y
- Anonim, 2023ç. <https://patents.google.com/patent/CN106309001A/en?q=CN106309001A>, Patent No: CN106309001A
- Anonim, 2023d. <https://patents.google.com/patent/CN107961111A/en?q=CN107961111A>, Patent No: CN107961111A
- Anonim, 2023e. <https://patents.google.com/patent/CN202477944U/en?q=CN202477944U>, Patent No: CN202477944U
- Anonim, 2023f. <https://patents.google.com/patent/CN204207907U/en?q=CN204207907U>, Patent No: CN204207907U
- Anonim, 2023g. <https://patents.google.com/patent/EP1073388B1/de?q=EP1073388B1>, Patent No: EP1073388B1
- Anonim, 2023ğ. <https://patents.google.com/patent/EP2117484B1/de?q=EP2117484B1>, Patent No: EP2117484B1
- Anonim, 2023h. <https://patents.google.com/patent/EP2842528A1/de?q=EP2842528A1>, Patent No: EP2842528A1
- Anonim, 2023ı. <https://patents.google.com/patent/GB1095988A/en?q=GB1095988A>, Patent No: GB1095988A
- Anonim, 2023i. <https://patents.google.com/patent/JPH08131473A/en?q=JP08131473A>, Patent No: JP08131473A
- Anonim, 2023j. <https://patents.google.com/patent/JP2014023604A/en?q=JP2014023604A>, Patent No: JP2014023604A
- Anonim, 2023k. <https://patents.google.com/patent/KR101285043B1/en?q=KR101285043B1>, Patent No: KR101285043B1
- Anonim, 2023l. <https://data.totalpatentone.com/api/v1/pdf/key/v2/en?q=KR1020140145099A>, Patent No: KR1020140145099A
- Anonim, 2023m. <https://patents.google.com/patent/RU2615283C1/en?q=RU2615283C1>, Patent No: RU2615283C1
- Anonim, 2023n. <https://patents.google.com/patent/US3908655A/en?q=US3908655A>, Patent No: US3908655A
- Anonim, 2023o. <https://patents.google.com/patent/US5383918A/en?q=US5383918A>, Patent No: US5383918A
- Anonim, 2023ö. <https://patents.google.com/patent/US5913885A/en?q=US5913885A>, Patent No: US5913885A

- Anonim, 2023p. <https://patents.google.com/patent/US6126680A/en?q=US6126680A>, Patent No: US6126680A
- Anonim, 2023r. <https://patents.google.com/patent/US6581400B2/en?q=US6581400B2>, Patent No: US6581400B2
- Anonim, 2023s. <https://patents.google.com/patent/US8087254B2/en?q=US8087254B2>, Patent No: US8087254B2
- Anonim,2023ş.<https://patents.google.com/patent/US20110295163A1/en?q=US20110295163A1>, Patent No: US20110295163A1
- Anonim,2023t.<https://patents.google.com/patent/US20170224530A1/en?q=US20170224530A1>, Patent No: US20170224530A1
- Anonim,2023u.<https://patents.google.com/patent/US20190083300A1/en?q=US20190083300A1>, Patent No: US20190083300A1
- Anonim,2023ü.<https://patents.google.com/patent/US20190307601A1/en?q=US20190307601A1>, Patent No: US20190307601A1
- Anonim,2023v.<https://patents.google.com/patent/US20190336330A1/en?q=US20190336330A1>, Patent No: US20190336330A1
- Anonim,2023y.<https://patents.google.com/patent/US20190343677A1/en?q=US+2019%2f0343677+A1>, Patent No: US 2019/0343677 A1
- Anonim,2023z.<https://patents.google.com/patent/WO2017083680A1/en?q=WO2017083680A1>, Patent No: WO2017083680A1
- Anonim, 2023z.1. <https://patents.google.com/patent/RU195163U1/en?q=RU195163U1>, Patent No: RU195163U1
- Anonim,2023z.2.<https://patents.google.com/patent/WO2017085273A1/en?q=WO2017085273A1>, Patent No: WO2017085273A1
- Türk Dil Kurumu. “Mühendis Tanımı”. <http://www.tdk.gov.tr/> sözlük Son erişim tarihi: 01.10.2020
- Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı On Birinci Planı. “ 11. Kalkınma Planı”. <http://onbirinciplan.gov.tr/> Son erişim tarihi: 01.10.2020
- Türkiye İstatistik Kurumu. “Ölüm Nedeni İstatistikleri”. <https://data.tuik.gov.tr/> Son erişim tarihi: 09.12.2020
- Türkiye İstatistik Kurumu. “Ölüm Nedeni İstatistikleri”. <https://data.tuik.gov.tr/> Son erişim tarihi: 11.12.2022
- Türkiye İstatistik Kurumu. “Sağlık Harcamaları İstatistikleri”. <https://data.tuik.gov.tr/> Son erişim tarihi: 03.12.2020
- Afshari, F. Gaz karışımları kullanan ısı pompalarının enerji ve ekserji verimlerinin deneysel olarak incelenmesi.
- Ali, S., Muhammad, N., Amin, A., Sohaib, M., Basit, A., & Ahmad, T. (2019). Parametric optimization of earth to air heat exchanger using response surface method. *Sustainability*, 11(11), 3186.
- Alizadeh, M., & Sadrameli, S. (2018). Numerical modeling and optimization of thermal comfort in building: central composite design and CFD simulation. *Energy and Buildings*, 164, 187-202.
- Aroonrat, K., Ahn, H. S., Jerng, D.-W., Asirvatham, L. G., Dalkılıç, A. S., Mahian, O., & Wongwises, S. (2019). Experimental study on evaporative heat transfer and pressure

- drop of R-134a in a horizontal dimpled tube. *International journal of heat and mass transfer*, 144, 118688.
- Arsenyeva, O., Kapustenko, P., Tovazhnyanskyy, L., & Khavin, G. (2013). The influence of plate corrugations geometry on plate heat exchanger performance in specified process conditions. *Energy*, 57, 201-207.
- Baldry, M., Timchenko, V., & Menictas, C. (2018). Thermal modelling of controlled scalp hypothermia using a thermoelectric cooling cap. *Journal of thermal biology*, 76, 8-20.
- Behzadnia, H., Jin, H., Najafian, M., & Hatami, M. (2021). Geometry optimization for a rectangular corrugated tube in supercritical water reactors (SCWRs) using alumina-water nanofluid as coolant. *Energy*, 221, 119850.
- Bejan, A., & Kraus, A. D. (2003). *Heat transfer handbook* (Vol. 1). John Wiley & Sons.
- Bergman, T. L., Bergman, T. L., Incropera, F. P., Dewitt, D. P., & Lavine, A. S. (2011). *Fundamentals of heat and mass transfer*. John Wiley & Sons.
- Boles, M., & Cengel, Y. (2014). *An Engineering Approach*. New York: McGraw-Hill Education.
- Box, G. E., & Wilson, K. B. (1992). On the experimental attainment of optimum conditions. *Breakthroughs in statistics: methodology and distribution*, 270-310.
- Cengel, Y., Cimbala, J., & Turner, R. (2012). *EBOOK: Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences (SI units)*. McGraw Hill.
- Çengel, Y. A. (2000). *Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik*. Literatür.
- Demir, M., & Adigüzel, N. (2023). R12, R22, R134A, R404A Soğutucu Gazlarının Evaporatör Performansının Belirli Bir Oranda Azaltılmasıyla Yıllık Enerji Ve Ekonomi Tasarrufu Kıyaslaması. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 416-426.
- Elbaş, Ş. (2018). *Nanoakışkanlı Mini Kanallarda Optimum Tasarım Parametrelerinin Yanıt Yüzey Yöntemi ile Belirlenmesi* Yüksek Lisans Tezi, Erzurum Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü ...].
- Genç, Y. (2014). *Plakalı ısı değiştirgeçlerinin had simülasyonlarının yapılması ve deneysel verilerle doğrulanması* TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Georgiadis, M. C., & Macchietto, S. (2000). Dynamic modelling and simulation of plate heat exchangers under milk fouling. *Chemical Engineering Science*, 55(9), 1605-1619.
- Grijnspeerdt, K., Hazarika, B., & Vucinic, D. (2003). Application of computational fluid dynamics to model the hydrodynamics of plate heat exchangers for milk processing. *Journal of food engineering*, 57(3), 237-242.
- Han, H.-Z., Li, B.-X., Wu, H., & Shao, W. (2015). Multi-objective shape optimization of double pipe heat exchanger with inner corrugated tube using RSM method. *International Journal of Thermal Sciences*, 90, 173-186.
- Hariri-Ardebili, M. A., Seyed-Kolbadi, S. M., & Noori, M. (2018). Response surface method for material uncertainty quantification of infrastructures. *Shock and Vibration*, 2018.
- Helmi, M., Tahvildari, K., Hemmati, A., & Safekordi, A. (2021). Phosphomolybdic acid/graphene oxide as novel green catalyst using for biodiesel production from waste cooking oil via electrolysis method: Optimization using with response surface methodology (RSM). *Fuel*, 287, 119528.

- Hesselgreaves, J. E., Law, R., & Reay, D. (2016). *Compact heat exchangers: selection, design and operation*. Butterworth-Heinemann.
- Kakac, S., Liu, H., & Pramuanjaroenkij, A. (2002). *Heat exchangers: selection, rating, and thermal design*. CRC press.
- Kaneko, S., Tomigashi, A., Ishihara, T., Shrestha, G., Yoshioka, M., & Uchida, Y. (2020). Proposal for a method predicting suitable areas for installation of ground-source heat pump systems based on response surface methodology. *Energies*, 13(8), 1872.
- Karaoglan, A. D., & Celik, N. (2016). A new painting process for vessel radiators of transformer: wet-on-wet. *Journal of Applied Statistics*, 43(2), 370-386.
- Khanları, A. (2018). *Plakalı Isı Değiştiricilerin Deneysel ve Sayısal Analizi* Doktora Tezi, Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 3–12].
- KILIÇ, B., ŞENCAN, A., & SELBAŞ, R. PLAKALI ISI EŞANJÖRÜ KULLANILAN SOĞUTMA UYGULAMALARINDA SOĞUTMA ETKİNLİK KATSAYISININ DENEYSEL İNCELENMESİ.
- Klemes, J. J., Arsenyeva, O., Kapustenko, P., & Tovazhnyanskyy, L. (2015). *Compact heat exchangers for energy transfer intensification: low grade heat and fouling mitigation*. CRC Press.
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments*. John Wiley & sons.
- Özakin, A. N., & Yeşildal, F. Çarpan jetle ısı transferinde geometrik parametrelerin sayısal optimizasyonu: Yanıt yüzey yöntemi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(1), 357-369.
- Özışık, M. N. (1985). *Heat transfer: a basic approach* (Vol. 1). McGraw-Hill Science, Engineering & Mathematics.
- Pratama, H. B., & Supijo, M. C. (2020). Experimental design and response surface method in geothermal energy: a comprehensive study in probabilistic resource assessment. *Geothermics*, 87, 101869.
- Said, K. A. M., & Amin, M. A. M. (2015). Overview on the response surface methodology (RSM) in extraction processes. *Journal of Applied Science & Process Engineering*, 2(1).
- Solanki, A. K., & Kumar, R. (2018). Condensation of R-134a inside micro-fin helical coiled tube-in-shell type heat exchanger. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 93, 344-355.
- Tosun, T., & Tosun, M. (2020). Heat exchanger optimization of a domestic refrigerator with separate cooling circuits. *Applied Thermal Engineering*, 168, 114810.
- Yusri, I., Majeed, A. A., Mamat, R., Ghazali, M., Awad, O. I., & Azmi, W. (2018). A review on the application of response surface method and artificial neural network in engine performance and exhaust emissions characteristics in alternative fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 665-686.
- Zahangir, A., Muyibi, S. A., & Toramae, J. (2007). Statistical optimization of adsorption processes for removal of 2, 4-dichlorophenol by activated carbon derived from oil palm empty fruit bunches. *Journal of Environmental Sciences*, 19(6), 674-677.
- Zohuri, B. (2017). *Compact heat exchangers*. Springer.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	: Musa DEMİR
Doğum tarihi	:
Doğum Yeri	:
Uyruğu	:
Adres	:
Tel	:
E-mail	:
Eğitim	
Lise	: Erzurum Lisesi
Lisans	: Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği
Yüksek lisans	: Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Termodinamik ABD
Doktora	: Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Termodinamik ABD
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce	: İyi
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
Makine Mühendisleri Odası	
Tezden Üretilmiş Yayınlar	
-	