

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SOĞUTUCU BATARYALAR VE SOĞUTUCU  
BATARYALARDA YOĞUŞMA**

**Makina Müh. Oğuzhan KURT**

**FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ahmet KOYUN**

**İSTANBUL, 2008**

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ .....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	ix
ÖNSÖZ .....	x
ÖZET .....	xi
ABSTRACT .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
1.1 Literatür Taraması İle İlgili Çalışmalar.....	1
1.2 Konuyla İlgili Güncel Çalışmalar .....	2
1.3 Bu Çalışmanın Amacı .....	4
2. BATARYA TANIMLAMALARI.....	5
2.1 Batarya Tanımı .....	5
2.2 Batarya Geometrisi .....	7
2.3 Kabuller .....	11
3. MATEMATİK MODEL .....	13
3.1 Kütle Korunumu .....	13
3.2 Enerji Korunumu .....	15
4. BORU DIŞI TAŞINIM KATSAYISI.....	20
4.1 Giriş .....	20
4.2 Araştırmacılar Tarafından Kullanılan Bağıntılar.....	20
4.2.1 Zorlanmış Kanal Akışı .....	20
4.2.2 Stasiulevicius ve Skrinska Modeline Göre Değerlendirme.....	22
4.2.3 Wang Modeline Göre Değerlendirme (1).....	23
4.2.4 Wang Modeline Göre Değerlendirme (2).....	25
5. ISLAK KANAT VERİMİ VE ISI TRANSFER KATSAYISI .....	26
6. NÜMERİK YÖNTEM.....	31
6.1. Matematik Modelin Ayırıklaştırılması.....	31
6.2 Açık Yöntemin Kararlılık Analizi .....	34
6.3 Nümerik Hesabı Etkileyen Faktörler .....	36
6.4 Nümerik Hesap Algoritması.....	37

7. SONUÇ VE TARTIŞMALAR.....	40
7.1 Giriş .....	40
7.2 Batarya Karakteristiği ve Parametreler .....	40
7.3 4 Devreli Bir Bataryaya Ait Uygulamalar.....	40
7.4 6 Devreli Bataryanın Farklı Soğuk Su Debilerindeki Davranışları .....	46
7.5 Farklı Devre Sayılarına Sahip Bataryaların Sabit Soğuk Su Debisindeki Davranışı.....	50
7.6 Farklı Devreli Bataryalar İçin Farklı Soğuk Su Debilerdeki Çıkış Değerleri .....	54
7.7 6 Devreli Bataryada Kanatların Büyütülmesiyle Performansın Arttırılması .....	55
7.8 Program Sonuçlarının Firma Katalog Bilgileriyle Karşılaştırılması .....	58
KAYNAKLAR.....	59
EKLER .....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	115

## SİMGE LİSTESİ (Alfabetik)

a	Borular arası yatay mesafe [m]
A	Yüzey alanı [m <sup>2</sup> ]
b	Borular arası dikey mesafe [m], entalpi katsayısı
Bi	Biot sayısı
c	Özgül ısı [kJ/(kg.K)]
Cs	Termal transfer katsayısı
Co	Courant sayısı
d	Çap, uzaklık [m]
e	Nemli hava entalpisi [kJ/kg]
f <sub>s</sub>	Sürtünme katsayısı
F <sub>p</sub>	Kanat hatvesi [m]
G	Kütle akısı [kg/m <sup>2</sup> .s]
h <sub>D</sub>	Kütle taşınım katsayısı [kg su buharı/(m <sup>2</sup> .kg su buharı/kg kuru hava)]
h <sub>i</sub>	Soğuk su ile borular arasındaki ısı taşınım katsayısı [W/m <sup>2</sup> .K]
h <sub>o</sub>	Hava ile yoğuşmuş su arası ısı taşınım katsayısı [W/m <sup>2</sup> .K]
h <sub>o1</sub>	Hava ile boru ve kanatlar arası toplam taşınım katsayısı [W/m <sup>2</sup> .K]
I	Değiştirilmiş Birinci tür Bessel fonksiyonu
k	Isı iletim katsayısı [W/m.K]
K	Değiştirilmiş İkinci tür Bessel fonksiyonu
L	Batarya boyutu [m]
Le	Lewis sayısı
m	Kanat parametresi, Kütle [kg]
M	Kontrol hacmi bileşeni kütlesi [kg/m <sup>3</sup> ]
n <sub>k</sub>	Kanat sıklığı [adet/m]
N <sub>b</sub>	Aşağıdan yukarıya sıra sayısı
N <sub>k</sub>	Tek boru üzerindeki toplam kanat adedi
N <sub>r</sub>	Yan yana devre (kolon) sayısı
N <sub>z</sub>	Tek boru üzerindeki kontrol hacmi sayısı
Nu	Nusselt sayısı
P	Islak çevre [m]
P <sub>i</sub>	Boru iç çapı dairesel uzunluğu [m]
Pr	Prandtl sayısı

q	Isı transferi [W]
Q	Hacimsel debi [m <sup>3</sup> /s]
r	Yarı çap [m]
Re	Reynolds sayısı
R <sub>i</sub>	Soğuk sudan boruya olan ısı taşınım direnci [m <sup>2</sup> .K/W]
R <sub>o</sub>	Boru ve kanatlardan nemli havaya olan ısı taşınım direnci [m <sup>2</sup> .K/W]
t	zaman [s]
v	Hız [m/s]
V	Hacim [m <sup>3</sup> ]
W	Mutlak nem [gr su buharı/ kg kuru hava]
x,y,z	Kartezyan koordinatlar

### Yunan Harfleri

α	Yayılm katsayısı [m <sup>2</sup> /s]
γ	Kısmi hacim oranı
δ	Kalınlık [m]
ρ	Öz kütle [kg/m <sup>3</sup> ]
η	Verim
ν	Kinematik vizkozite [m <sup>2</sup> /s]
μ	Mutlak vizkozite [kg/m]

### İndisler

b	Boru
bu	Su buharı
dh	Doymuş hava
dy	Doyma
h	Hava
ı	ıslak
i	İç, içeri
k	Kanat
o	Dış, dışarı

s	Soğuk su
T	Toplam
ü	Üst
y	Yoğuşmuş su

### Üsler

.	(nokta) Birim zamanda
0	Başlangıç değeri

## KISALTMA LİSTESİ

HVAC Isıtma Soğutma ve Havalandırma

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	HVAC uygulamalarında kullanılan iki çeşit soğutucu batarya.....	5
Şekil 2.2	Bataryalarda kullanılan kanatlar.....	6
Şekil 2.3	Şematik batarya diyagramı.....	6
Şekil 2.4	Şematik kontrol hacimleri.....	7
Şekil 2.5	Bataryaya ait kontrol hacmi .....	8
Şekil 2.6	Dikdörtgen kanat için dairesel kanat yaklaşımı .....	10
Şekil 3.1	Islak yüzey için kontrol hacmi .....	13
Şekil 5.1	Islak kanat için şematik gösterim .....	26
Şekil 5.2	Doymuş havaya ait entalpi-sıcaklık eğrisi .....	27
Şekil 5.3	Doymuş havaya ait sıcaklık-entalpi katsayısı eğrisi.....	27
Şekil 6.1	Bataryaya ait konum ayrıklaştırması .....	31
Şekil 6.2	Çözüm algoritması.....	39
Şekil 7.1	4 Devreli batarya teknik resmi .....	41
Şekil 7.2	Başlangıç ve giriş şartlarının eşit alındığı andırım .....	44
Şekil 7.3	Başlangıç ve giriş şartlarının farklı alındığı andırım .....	45
Şekil 7.4	6 Devreli batarya teknik resmi .....	47
Şekil 7.5	6 Devreli Batarya için farklı soğuk su debilerindeki çıkış entalpileri .....	48
Şekil 7.6	6 Devreli Batarya için farklı soğuk su debilerindeki çıkış nem değerleri .....	48

Şekil 7.7	6 Devreli Batarya için farklı soğuk su debilerindeki soğuk su çıkışı değerleri	49
Şekil 7.8	6 Devreli Batarya için farklı soğuk su debilerindeki yoğuşan su miktarları....	49
Şekil 7.9	Farklı devreli bataryalar için nemli hava çıkışı entalpi değerleri.....	51
Şekil 7.10	Farklı devreli bataryalar için nemli hava çıkışı özgül nem değerleri .....	51
Şekil 7.11	Farklı devreli bataryalar için soğuk su çıkış sıcaklığı değerleri.....	52
Şekil 7.12	Farklı devreli bataryalar için yoğuşma miktarı değerleri.....	52
Şekil 7.13	2 Devreli batarya teknik resmi .....	53
Şekil 7.14	Farklı bataryalara ait farklı soğuk su debilerindeki performans eğrileri .....	55
Şekil 7.15	6 Devreli bir bataryada borular arası mesafenin artırılması.....	56
Şekil 7.16	6 Devreli bir bataryada borular arası mesafenin artırılmasıyla elde edilen ... sonuçlar	56

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 4.1	Farklı yaklaşımlara göre boru dışı taşınım katsayısı değerleri.....	25
Çizelge 7.1	Temel parametreler .....	40
Çizelge 7.2	Batarya için program parametreleri .....	41
Çizelge 7.3	6 Devreli batarya için değişen parametreler.....	44
Çizelge 7.4	6 Devreli batarya için sürekli rejim değerleri.....	44
Çizelge 7.5	2 Devreli batarya için değişen parametreler.....	47
Çizelge 7.6	Farklı bataryalara ait farklı soğuk su debilerindeki çıkış değerleri .....	54
Çizelge 7.7	Program ve firma verilerinin karşılaştırılması.....	58

## ÖNSÖZ

Hava şartlandırma işleminde şüphesiz en çok enerji tüketimi havayı soğutmak için gerçekleşmektedir. Bunun için öncelikle soğutucu akışkan istenilen sıcaklığa soğutulur ve havayı soğutmak üzere soğutucu bataryaya gönderilir. Batarya yüzeyinde soğuyan havanın aynı zamanda içerisindeki su buharının yoğuşması sebebiyle nemi de alınmış olur. Bu süreçte aynı anda nem alma işleminin gerçekleşmesi, bataryanın ısı transferi analizlerini güçleştirmektedir. Üzerinde çok çalışılmış olsa da yoğuşmanın olduğu haldeki ısı transfer katsayısını verecek çok güvenilir bir bağıntı bulunamamıştır. Bu çalışmada yeni bir bağıntı bulmaya çalışılmamış olup hali hazırdaki bağıntı ve yaklaşımlar kullanılarak günümüzde kullanılmakta olan bataryaların dinamik performanslarını izlemek için uygun programlar yazılmıştır.

Tez yazımı süresince her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen tez hocam Doç. Dr. Ahmet KOYUN'a ve meslektaşım Hamdi Nadir TURAL'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ayrıca yüksek lisans eğitimim süresince madden ve manen desteklerinden dolayı Okmeydanı Öğrenci Yurdu personeline teşekkür ederim.

Teknik konularda kendisinden sürekli yardım aldığım arkadaşım Celalettin KILINÇ'a da teşekkürlerimi sunarım.

## ÖZET

Bu çalışmada, soğutucu bataryalardaki ısı ve kütle transferini incelemek için ıslak rejimde dinamik bir andırım modeli çıkarılıp, farklı devre sayısına sahip bataryalar için programlar yazılarak değerlendirmeler yapılmıştır.

Batarya sistemi üç enerji denklemi ve yoğuşma nedeniyle ilaveten bir de kütle dengesi denklemi ile andırım yapılmıştır. Diferansiyel denklemler için zamana bağlı türevler açık (explicit) metotla; konum türevleri ‘upwind difference’ metot ile ayrıklaştırılıp nümerik olarak çözülmüştür. Yöntem piyasada kullanılmakta olan üç farklı tip bataryaya uygulanmış olup her batarya için, Matlab programlama dili kullanılarak farklı bir çözüm algoritması yazılmıştır.

Elde edilen modellerde gerçekçi sonuçlar elde etmek için toplam kanat verimine paralel olarak kütle transfer verimi kullanılmıştır. Bu sayede kanatlar üzerinde her noktada yoğuşmanın olmadığı göz önüne alınmıştır.

Giriş şartlarının değişimine göre sistemin cevabı dinamik olarak grafiklerle gösterilmiş olup değerlendirmeler yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar batarya üretici firmanın kendi deney verilerine göre kullandığı program sonuçlarıyla karşılaştırıldığında iyi bir mutabakat sağlanmıştır.

*Anahtar Kelimeler: Soğutucu Bataryalar, Yoğuşma, Islak Model*

## **ABSTRACT**

In this study, a simulation model was developed and codes were written for evaluating the heat and mass transfer phenomena of wet cooling coils which have different kind of circuits.

The cooling coil was simulated with three energy equation and a mass balance equation due to the condensation. The differential equations solved numerically, after the derivations with respect to the time variable were approximated using an explicit method, and the derivations with respect to the space variables were approximated using the upwind difference method. The method was applied to three different kind of currently used coils and for each coil different solution algorithms were written.

A mass transfer efficiency in a parallel manner with the total fin efficiency is introduced to the mass balance equation to produce consistent results in the models. Thus we recognize that there is no condensation on all surface of the fins.

The dynamic response of the system according to the different boundary conditions was shown with the graphics and evaluated.

Comparisons indicate that the model predictions show good agreement with the coil company program results which based on the experimental data.

*Keywords: Cooling coils, Condensation, Wet model*

## 1. GİRİŞ

Bu bölümün amacı konuyla ilgili şu ana kadar yapılmış olan çalışmalara genel bir bakış ve ardından güncel makale ve çalışmaların incelenmesi olacaktır. Burada da Bourdouxhe ve Lebrun'un HVAC ekipmanlarının dinamik modelleri hakkındaki 1996'da yapmış oldukları literatür çalışmasından faydalanılmıştır.

### 1.1 Literatür Taraması İle İlgili Çalışmalar

Konuyla ilgili ilk sayılabilecek esaslı çalışma: Therlkeld tarafından 1962'de soğutma kuleleri ile ilgili sürekli rejimdeki modeli olmuştur. Bu modelde havanın ısıtılmış sprey su ile olan ısı ve kütle transferi incelenmiştir. Bu model daha sonra soğutulmuş sprey su ile nemlendirme ve soğutucu bataryaların sürekli rejimde nem alma işlemine uyarlanmıştır.

Kuehn v.d. (1988) Therlkeld'in bu modelini esas alan denklemler çıkarmış ve bazı modifikasyonlar yapmışlardır.

Braun (1988) soğutucu batarya için bir model geliştirdi. Yaptığı kabuller farklı olmakla beraber Therlkeld'inkine yakın denklemler elde etti.

Deng (2000), Therlkeld tarafından kullanılan sürekli rejim modelini doğrudan temaslı soğutucu bataryaların dinamik modellenmesinde kullandı ve modelini deneysel verilerle doğruladı.

Bourdouxhe ve Lebrun (1996) nem alıcı soğutucu bataryalarının dinamik modellenmesi hakkında yedi adet makaleyi tetkik ettiler. Raporlarında ayrıntılı olarak inceledikleri iki model vardır. Öne sürülen modellerin çoğu iki kısımda toplanabilir. Bunlardan birinci sınıf: batarya içinde konum değişkenlerinin göz ardı edildiği 'yığın parametre modeli' (lumped parameter model)dir. Morisot v.d. (2002) bir soğutucu batarya modeli yayınladılar. Model problemin karmaşıklığını azaltmasına rağmen sonuçların gerçekliği sorgulamaya açıktır. Bir diğer sınıf da yarı ampirik yaklaşımlı modellerdir. Bunlarda sürekli rejim şartları için ısı değiştiricisi etkenliği için içine girmiş ve sürekli rejim denklemlerine bir de zaman sabiti eklenmiştir. Lebrun (1990), Braun'un 1998'deki sürekli rejim modellerini geliştirdi. Lebrun'un bu matematik modeli Wang (1998) tarafından bir binanın merkezi çiller sistemine uyarlandı. Bu model hesap zamanı açısından verimli olmasına rağmen doğruluğu deneysel verilere muhtaçtır.

Bourdouxhe ve Lebrun (1996)da yer almayan başka bir makale de Wang ve Krauss (1993) tarafından yayınlandı. Wang ve Krauss (1993) düz kanatlı ısıtıcı ve soğutucu bataryaların

andırım modellerini çıkardılar. Model konum değişkenleriyle beraber zamana bağlı dinamik değişimleri de içermektedir. Bataryaların termal davranışını andırım yapmak üzere kütle ve enerji korunumuna dayanan bir dizi diferansiyel denklem kullanılmıştır. Modelleri kolaylaştırmak üzere birçok varsayım yapılmıştır. Bunlardan bir tanesi boruların enerji depolama kapasitesi ihmal edilmiştir; bu sebeple boruların dinamik davranışı yok sayılmıştır. Ayrıca denklemlerin çıkarılışı ve nümerik çözüm şeması makalede gösterilmeyip sorgulamaya açıktır.

## **1.2 Konuyla İlgili Güncel Çalışmalar**

### **Luis Rosario ve Muhammed M. Rahman (1998)**

Nem alma işleminde dairesel kanatlı eşanjörleri kısmen ıslak durum için incelemiştirler. Matematik modeller oluşturulurken boru içi ve dışındaki taşınım katsayıları sabit kabul edilmiş buna bağlı olarak soğuk su ve havanın Bi sayıları da andırım boyunca sabit kabul edilmiştir. Sonuç olarak boyutsuz kanat çapına bağlı olarak boyutsuz sıcaklık değişimler ve bağıl neme bağlı olarak kanat verimi elde edilmiştir.

### **Jianfeng Wang ve Eiji Hihara (2002)**

Soğutucu ve nem alıcı batarya performanslarını incelemek üzere ‘eşdeğer kuru termometre sıcaklığı metodu’ adı altında bir model geliştirdiler. Model; tamamen kuru, tamamen ıslak ve kısmen ıslak rejimleri incelemesi açısından kapsamlı bir çalışmadır. Çıkarılan diferansiyel denklemler nümerik yöntemle çözülmüş ve deney verileri ile karşılaştırıldığında  $\pm\%10$  luk bir hata saptanmıştır.

### **Guang-Yu Jin v.d. (2005)**

Bataryayı tek bir kontrol hacmi kabul eden ‘lumped kapasite model’ yaklaşımına dayanarak zamana bağlı bir model geliştirmişlerdir. Denklemler kısa ve sade olması yönünden basit olsa da geometrik özelliklerden bağımsız olarak nonlinear batarya karakteristiklerini geniş bir uygulama alanında verebilmektedir. Bununla birlikte denklemlerdeki taşınım katsayısının

hesaplanmasında kullanılan bazı parametrelerin nereden bulunup yerine konduğu açıkça belirtilmemiştir.

**F. Halıcı, İ. Taymaz, M. Gündüz (1998)**

Isıtma ve soğutmada kullanılan bakır borulu ve alüminyum kanatlı eşanjörlerdeki sıra sayısının ısı, kütle ve momentum transferine etkisini deneysel olarak incelemiştirler. Islak ve kuru hal için yaptıkları deneylerde farklı sıra sayıları için Colburn ve Sürtünme faktörlerini grafikize etmişlerdir. Sonuç olarak ıslak durumdaki Colburn ve Sürtünme faktörlerinin kuru halden daha büyük olduğunu ve her iki durum için de bu faktörlerin sıra sayısının artmasıyla azaldığını deneysel olarak bulmuşlardır.

**A. Vardhan ve P. L.Dhar (1996)**

Çıkarılmış oldukları nümerik model ile her türlü boru devresine sahip bataryaların ısı transfer ve basınç düşümü karakteristikleri incelenebilmektedir. Model zaman bağımlı değildir ve Therkeld'in yaklaşımını kullanmıştır. Soğutucu akışkanın izlediği yola göre ayrıklaştırma yapan model, batarya boyunca ısı transfer katsayısının değişimini güncelleyebilmekte ve kısa süre içerisinde kararlı sonuçlar vermektedir. Modelin doğruluğu, incelenen bataryanın katalog verilerine göre sağlanmış olup deney yapılmamıştır.

**Xin Yu ve Jin Wen (1996)**

Soğutucu bataryaların ıslak ve kuru şartları için ayrı ayrı dinamik simülasyon modelleri geliştirmiş ve modelleri doğrulayan deneyler yapmıştır. Çıkarılan diferansiyel denklemler açık nümerik yöntemle çözülmüştür. Kuru yüzey model sonuçları, etkenlik-geçiş yöntemiyle karşılaştırılmış ve mantıklı fiziksel sonuçlar elde edilmiştir. Islak modele ait kütle korunum denkleminde kanat verimine paralel olarak kütle verimi adı altında yeni bir katsayı kullanmıştır. Böylece tüm kanatta yoğuşmanın olmadığı durum göz önüne alınmıştır.

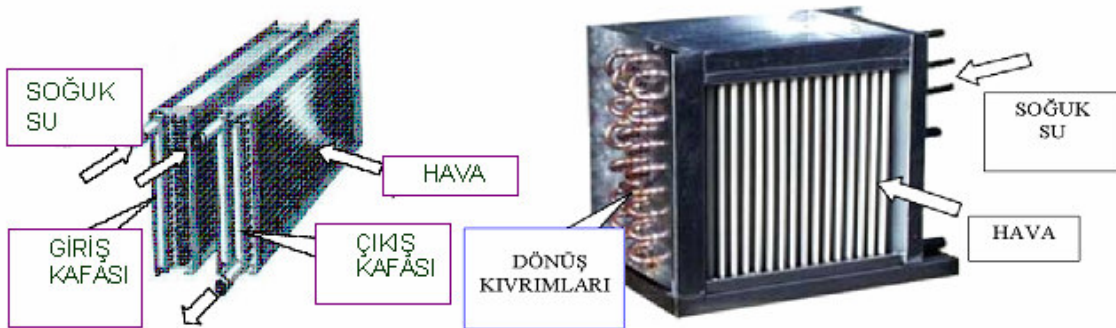
### **1.3 Bu Çalışmanın Amacı**

Bu çalışmanın amacı: Yoğuşmanın göz önüne alındığı hal için soğutucu bataryalarda ısı ve kütle transferinin Xin Yu'nun yaklaşımına paralel olarak incelenmesi ve denklemlerin çözümü için farklı batarya düzenlemelerine uygun çözüm algoritmalarının yazılarak değerlendirmeler yapılmasıdır.

## 2. BATARYA TANIMLAMALARI

### 2.1 Batarya Tanımı

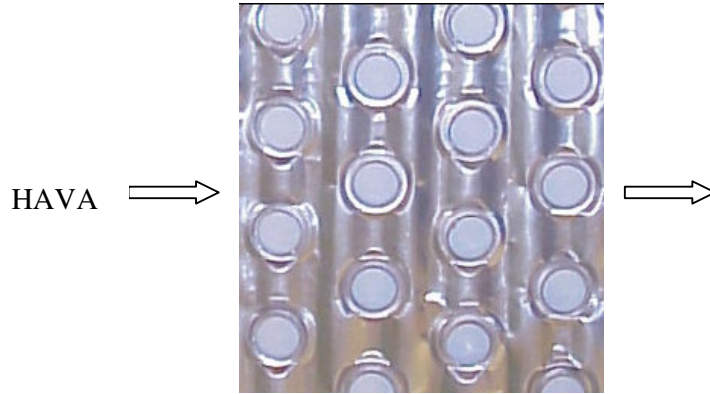
Soğutucu bataryalar hava şartlandırma sistemlerinde havayı soğutmak ve nemini almak için kullanılan ısı değiştiricileridir. Genelde kanatlı-borulu olarak imal edilen bu eşanjörlerde hava borular dışından ve kanatlar arasından geçerken, soğutucu akışkan ki bu soğuk su veya aracı akışkan Freon v.b. olabilir, borular içinden gider. Piyasada kullanılan en yaygın soğutucu bataryalar çapraz borulu tiplerdir. Bunlarda borular hava akışına çapraz olacak şekilde kıvrılmış kolonlar halindedir. Suyun kolektörden dağıldığı her bir boru kolonu devre diye isimlendirilir. Boru dış yüzeylerinde ısı transferi taşınım katsayısı düşük olacağından kanatlar vasıtası ile yüzey artırılarak taşınım direnci azaltılır. Boru iç yüzeyleri ise genelde düz olup yüzey artırma yoluna gidilmez. Borular içersinde iç akışkanı olarak adlandırılan chillerden gelen soğuk su akar. Boru dışından çapraz olarak ve kanatlar arasından soğutulmak istenen hava üflenir.



**Şekil 2.1 HVAC uygulamalarında kullanılan iki çeşit soğutucu batarya**

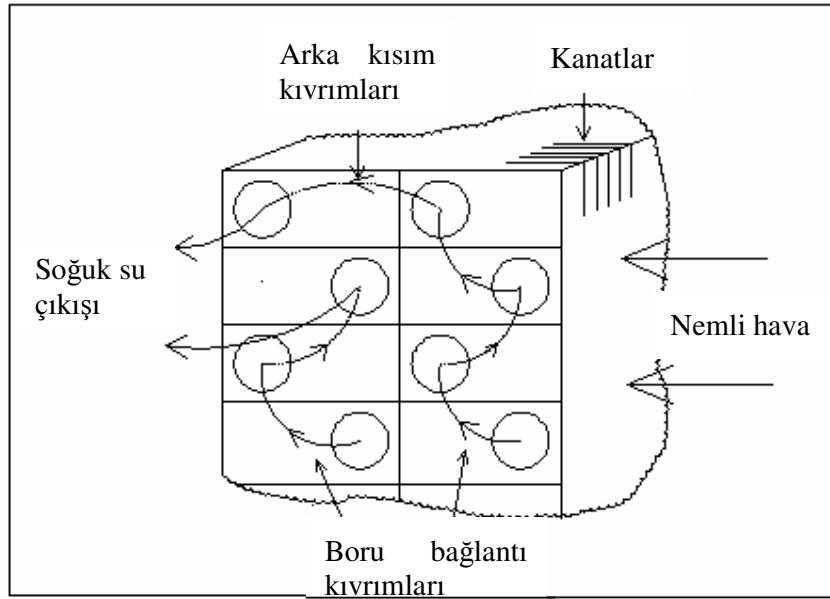
Şekil 2.1 deki bataryalar arasındaki fark: En soldakinde soğuk suyun giriş ve çıkış kolektörleri farklı taraflarda olup ortadaki bataryada ise aynı taraftadır. Soğuk su giriş kolektöründen eşit olarak boru kolonlarına dağılır, bataryayı dolaşır ve çıkış kolektöründen bataryayı terk eder. Sağdakinde ise borular düz sıralanmayıp aynı boru yukarı doğru farklı geçişlerde bir sağa bir sola kıvrılmak suretiyle hava akımına daha fazla sürtünmekte ve bu da

hava tarafında türbülansa sebebiyet vermeye ısı taşınım katsayısını artırmaktadır.



**Şekil 2.2 Bataryalarda kullanılan kanatlar**

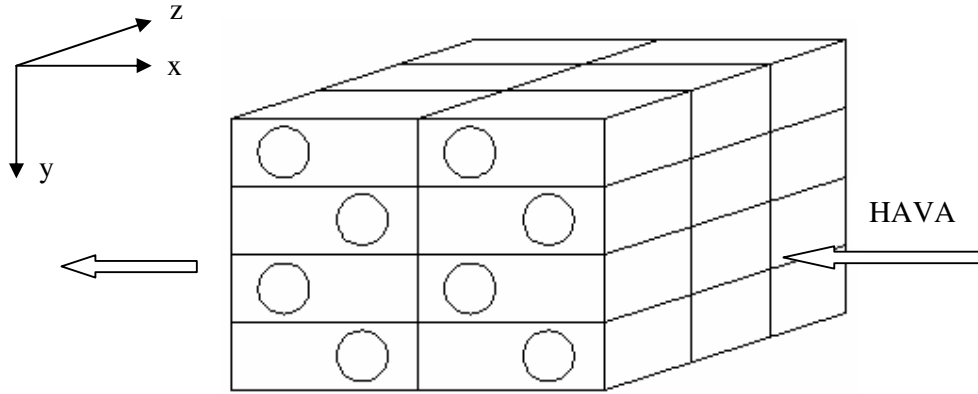
Bu çalışmada incelenecek olan batarya tipleri Şekil 2.1 sağdaki tipten olacaktır. Şekil 2.3’de bu tip bir bataryaya ait şematik bir resim görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi soğuk suyun dolaştığı borular çapraz dizilimde ve U şeklinde bağlantı kıvrımları ile birbirini yukarıya doğru takip etmektedir. Nemli hava ise boru düzlemine dik bir şekilde bataryanın sağından gelip kanatlar arasından geçerek bataryanın sol tarafından soğuyarak çıkmaktadır.



**Şekil 2.3 Şematik batarya diyagramı**

## 2.2 Batarya Geometrisi

Model oluşturulurken batarya Şekil 2.4'te gösterilen dikdörtgen prizma şeklindeki kontrol hacimlerine ayrılmıştır. Her kontrol hacmi içinden geçen boru, kanatlar, nemli hava ve yoğunlaşmış sudan oluşmaktadır. Kontrol hacmi boyutları batarya dinamikleri ve akış düzenine bağlıdır. Batarya boyutları  $L_x$ ,  $L_y$  ve  $L_z$  olarak gösterilmiştir.  $L_x$ , x yönündeki batarya boyutudur.



Şekil 2.4 Şematik kontrol hacimleri

$L_y$  bataryanın y yönündeki uzunluğu yani batarya boyudur.  $L_z$  ise bataryanın z yönündeki uzunluğu olup boru boyuna eşittir. Buna göre V batarya hacmini aşağıdaki gibi tanımlarız:

$$V = L_x L_y L_z \quad (2.1)$$

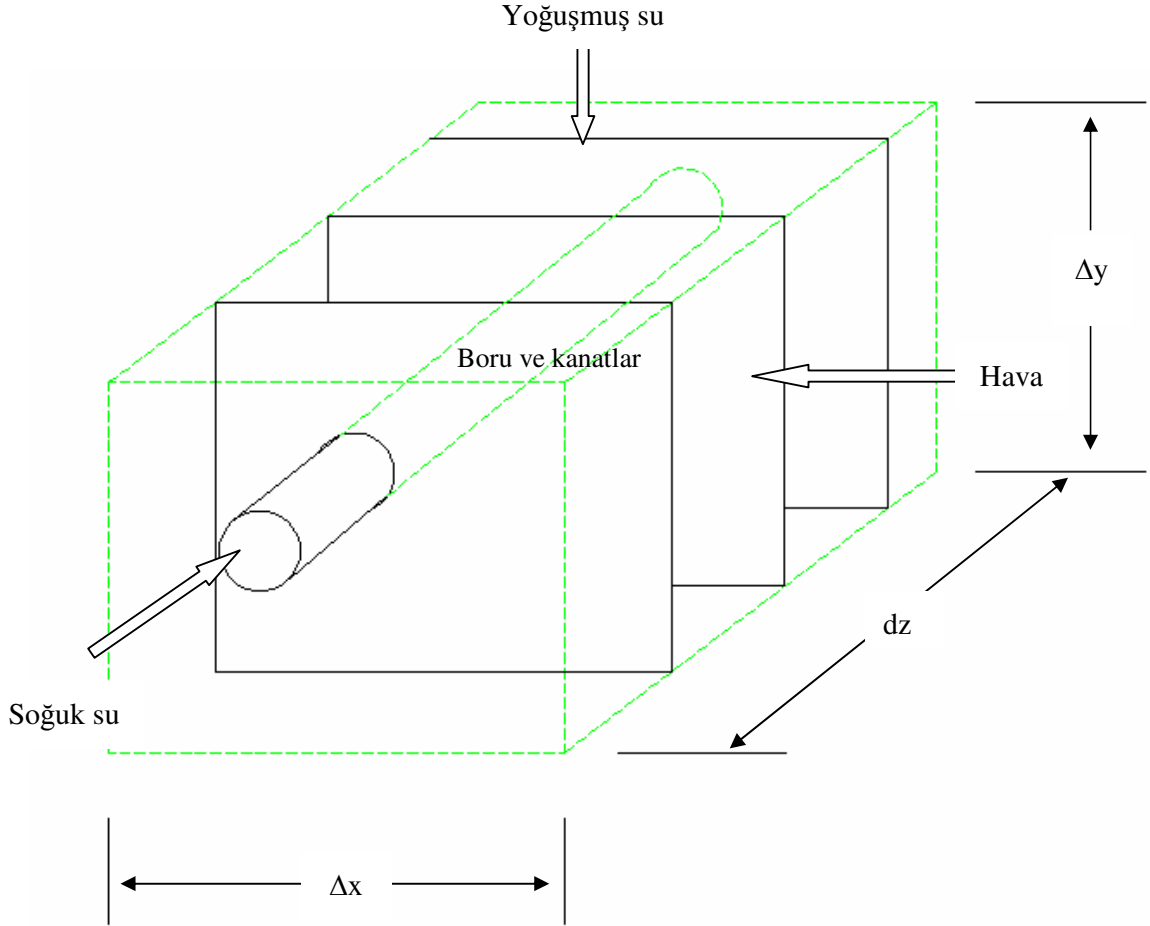
İncelenen çapraz akışlı soğutucu bataryaya ait bir kontrol hacmi Şekil 2.5' de gösterilmiştir. Buna göre her kontrol hacmi boru, borular üzerinde kanatlar, yoğunlaşmış su ve havadan oluşmaktadır. Kanatlar düz olup boruların dış yüzeyine geçirilmiştir. Kontrol hacminin hacmi şu şekilde ifade edilir:

$$dV = \Delta x \Delta y \Delta z \quad (2.2)$$

$\Delta x$  ve  $\Delta y$  boru boyuna (longitudinal) ve enine (transversal) uzunluklarıdır.  $N_r$  yan yana bulunan kolon sayısı ve  $N_b$  tüm batarya için aşağıdan yukarıya sıra sayısı olmak üzere bu uzunluklar şöyle tanımlanabilir:

$$\Delta x = \frac{L_x}{N_r} \quad (2.3)$$

$$\Delta y = \frac{L_y}{N_b} \quad (2.4)$$



**Şekil 2.5 Bataryaya ait kontrol hacmi**

$dz$  ise bataryanın  $z$  yönündeki diferansiyel uzunluğu olup bir geçişte tek boru üzerindeki kontrol hacmi sayısı  $N_z$  şu şekilde verilir:

$$N_z = \frac{L_z}{dz} \quad (2.5)$$

Kontrol hacmi içinde hava, boru, kanatlar, su ve yoğuşmuş suyun tüm hacmi kapladığını düşünüyoruz. Buna göre h,y,b,k,s sırasıyla hava, yoğuşmuş su, boru, kanat ve soğuk su olmak üzere kısmi hacimleri şu şekilde yazabiliriz:  $dV_h$ ,  $dV_y$ ,  $dV_b$ ,  $dV_k$ ,  $dV_s$ . Bunlarla ilgili ifadeler aşağıda gelecektir. Buna göre kontrol hacminin kısmi hacimlerle ifadesi şöyle olacaktır:

$$dV = dV_h + dV_y + dV_b + dV_k + dV_s \quad (2.6)$$

Kısmi hacim oranı  $\gamma_i$  toplamları bire eşit olmak üzere (i=h,y,b,k,s):

$$\gamma_i = \frac{dV_i}{dV} \quad (2.7)$$

olacaktır. Bataryanın dış yüzey alanı  $A_o$ , boru ve kanatların dış yüzey alanları cinsinden ifade edilmek üzere:

$$A_o = A_b + A_k \quad (2.8)$$

$A_b$  boruların dış yüzey alanı ve  $A_k$  toplam kanat alanını gösterir.

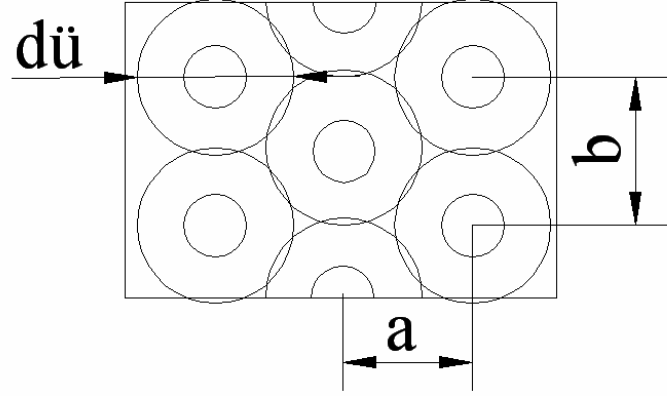
$$A_b = \pi d_o (L_z - N_k \delta_k) \quad (2.9)$$

Bu denklemde de  $d_o$ : boru dış çapı;  $N_k$ : bir borudaki toplam kanat adedi olup  $N_k = n_k L_z$  ( $n_k$ :kanat sıklığı) olarak verilir;  $\delta_k$ : kanat kalınlığı

Hesaplamaları kolaylaştırmak için düz kanatlar sanki dairesel kanatmış gibi düşünüldü ve eşdeğer kanat çapı hesaplandı. Şekil 2.6 dikdörtgen düz kanatların dairesel kanat yaklaşımını göstermektedir.

$$A_k = 2N_k \frac{\pi(d_u^2 - d_o^2)}{4} \quad (2.10)$$

olup  $d_u$  aşağıdaki gibi hesaplanır:



**Şekil 2.6 Dikdörtgen kanat için dairesel kanat yaklaşımı**

a, borular arası yatay mesafe ve b, yukarı doğru aynı sıra için dikey mesafe olmak üzere

$$dü = \sqrt{\frac{4ab}{\pi}} \quad (2.11)$$

Hava için diferansiyel kontrol hacmi şu şekilde yazılır:

$$dV_h = dV - dV_y - dV_b - dV_k - dV_s \quad (2.12)$$

Boru ve kanatlar etrafında düzgün dağılmış olarak düşünülen yoğuşmuş su filmi diferansiyel hacmini de şu şekilde yazılır:

$$dV_y = dA_o \delta_y \quad (2.13)$$

Burada  $dA_o$  kontrol hacminin ısı transferine mahal olan dış yüzey alanıdır ve

$$dA_o = \frac{A_o}{L_z} dz \quad (2.14)$$

Denklem 2.13 deki  $\delta_y$  düzgün dağılı yoğuşmuş su filmi kanlınlığı 0.13 mm olarak tavsiye edilmiştir. (Wang v.d.,1997)

Diferansiyel boru hacmi:

$$dV_b = \frac{\pi(d_o^2 - d_i^2)}{4} dz \quad (2.15)$$

$d_i$ : boru iç çapı

Kanatlarla ait diferansiyel hacim:

$$dV_k = \frac{\pi(d_u^2 - d_o^2)\delta_k N_k}{4L_z} dz \quad (2.16)$$

Soğutucu akışkan su için diferansiyel hacim:

$$dV_s = \frac{\pi d_i^2}{4} dz \quad (2.17)$$

### 2.3 Kabuller

Soğutucu bataryalar için ısı transfer yüzeyi sıcaklığı havanın çığ nokta sıcaklığı altında ise yoğuşma olacak ve yüzeyde ince bir film tabakası oluşacaktır. Oluşan yoğuşmuş su yüzeyde birikmeyip düzgün bir şekilde aktığı kabul edilmiştir. Havadan duyulur ısının alınmasının yanında yoğuşma sebebi ile bir de gizli ısı transferi olacaktır. Havadan alınan bu gizli ısı duyulur ısın ortalama %0.8-0.9 mertebelerinde olduğundan ihmal edilmiştir. Kontrol hacminde yoğuşmuş su ve soğuk suyun birikmediği, yoğuşma esnasında kuru hava miktarının sabit kaldığı kabul edilmiştir.

Boru ve kanat dipleri nispeten soğuk olup yoğuşmanın olduğu yüzeylerdir. Buna karşılık kanat uçları daha sıcak olup çığ noktasının üzerinde olabilecektir. Dolayısıyla kanat uçlarında yoğuşma olmayacak ve batarya için kısmen ıslak şartlar geçerli olacaktır. Bu durumu göze almak için kütle korunum denkleminde kütle verimi kullanılmıştır.

Aşağıda denklemler oluşturulurken göz önüne alınan diğer kabuller vardır:

- Kinetik ve potansiyel enerjiler ile dönüş kıvrımlarındaki ısı transferleri ihmal edildi.
- Batarya derinliğince (z-yönünde) hava ve soğuk su için ısı iletimi ihmal edildi.
- Kontrol hacmi içinde hava sıcaklık dağılımının üniform olduğu kabul edildi.
- Boru kesitince akış üniform kabul edildi.
- Hava ve soğuk su transport özellikleri için ortalama sıcaklıktaki değerler kabul edildi.
- Boru ve kanatlar boru yüzey sıcaklığında kabul edilmiş olup, kanat verimi ısı transfer

miktarının hesaplanmasında kullanıldı.

- Kanat ve borular arasındaki temas direnci ihmal edildi.
- Kanat parametresi başlangıç şartlarına göre hesaplanmış olup sabit kabul edildi.

Hava ve soğuk su için kütleli debiler, giriş sıcaklıkları, hava için bağıl nem oranı biliniyor. Ayrıca boru ve kanatlarla ilgili parametreler, akış şeması bilinen program girdileri olacaktır.

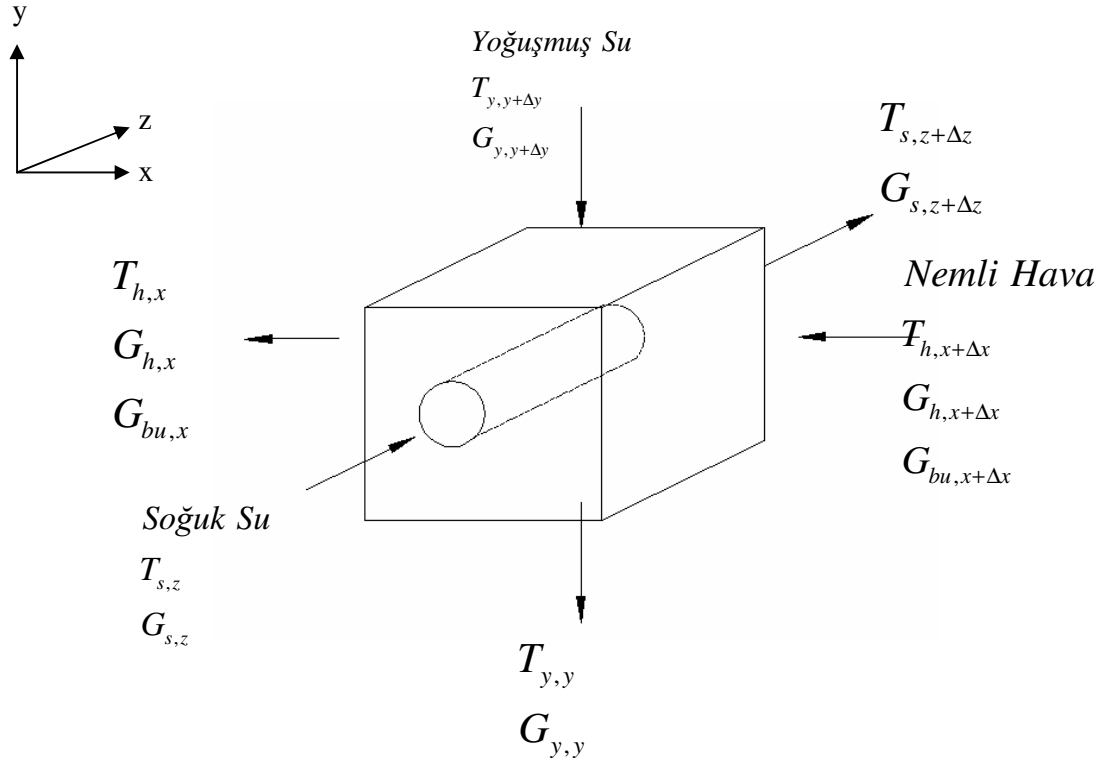
### 3. MATEMATİK MODEL

Bu bölümde soğutucu bataryaya ait kütle ve enerji denklemlerinin çıkarılışı anlatılacaktır.

#### 3.1 Kütle Korunumu

Islak yüzeyli bataryada kontrol hacmine ait kütle korunum denklemini yazarken nemli havanın, yoğuşmuş suyun ve soğuk suyun kontrol hacmi içerisinde birikmediği sürekli rejim hali kabul edilmiştir.

Islak yüzeyli bir kontrol hacmi Şekil 3.1'deki gibi şematik olarak gösterilebilir.



Şekil 3.1 Islak yüzey için kontrol hacmi

Nemli hava ve yoğuşmuş suya ait kütle dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\left. \frac{\partial (m_h + m_{bu} + m_y)}{\partial t} \right|_{kh} = \left( \dot{m}_{h,x+\Delta x} + \dot{m}_{bu,x+\Delta x} + \dot{m}_{y,y} \right) - \left( \dot{m}_{h,x} + \dot{m}_{bu,x} + \dot{m}_{y,y+\Delta y} \right) \quad (3.1)$$

Nemli havanın sabit debide kontrol hacmine girdiğini düşünürsek  $m_h$  ve  $\dot{m}_h$  sabittir. Ayrıca

su buharı ve yoğuşmuş su kontrol hacminde birikmediği için  $m_{bu}$  ve  $m_y$  de sabit olacaktır. Dolayısıyla denklem (3.1) şu hale gelecektir.

$$0 = \left( \dot{m}_{bu,x+\Delta x} - \dot{m}_{bu,x} \right) + \left( \dot{m}_{y,y} - \dot{m}_{y,y+\Delta y} \right) \quad (3.2)$$

Denklem (3.2) de diferansiyel olarak şu halde yazılabilir:

$$0 = -\frac{\partial G_{bu}}{\partial x} dV - \frac{\partial G_y}{\partial y} dV \quad (3.3)$$

Bu denklem bize kontrol hacmindeki su buharı değişiminin, yoğuşmuş su değişimine eşit olacağını gösterir.

Ayrıca hava içindeki su buharı değişimini mutlak nem cinsinden yazarsak:

$$dG_{bu} = G_h dw \quad (3.4)$$

Yoğuşmuş su ile temasta olan nemli hava yoğuşmuş su sıcaklığında doymuş kabul edilebilir. Böylece su buharından kondense olan kütle transferi şu şekilde yazılır. (Kuehn v.d., 1998)

$$d \dot{m}_{bu} = -h_D dA_o (w - w_{dy}) \quad (3.5)$$

Burada  $h_d$  kütle transfer katsayısı,  $w_{dy}$  yoğuşmuş su sıcaklığı  $T_y$  deki doymuş özgül nemdir.

Yoğuşmuş su için kütle dengesi şu şekilde olacaktır:

$$0 = (G_{y,y} - G_{y,y+\Delta y}) \Delta x.dz + d \dot{m}_{bu} \quad (3.6)$$

Burada  $G_{y,y+\Delta y}$  kütle akısını Taylor serisinin ilk iki terimi ile açarsak denklem (3.6) şu hale gelecektir:

$$0 = -\frac{\partial G_y}{\partial y} dV + d \dot{m}_{bu} \quad (3.7)$$

Nemli hava için kütle korunumunu yazacak olursak:

$$0 = [(G_{h,x} + G_{bu,x}) - (G_{h,x+\Delta x} + G_{bu,x+\Delta x})] \Delta y \cdot dz - d \dot{m}_{bu} \quad (3.8)$$

Bu denklemde de Taylor serisi açılımı uygulanacak olursa:

$$0 = -\frac{\partial G_{bu}}{\partial x} dV - d \dot{m}_{bu} \quad (3.9)$$

eşitliği elde edilir.

Dolayısıyla ıslak yüzey için kütle korunum denklemi denklem(3.5) ve denklem(3.9) kullanılarak

$$-G_h \frac{\partial w}{\partial x} dV = h_D dA_o (w - w_{dy}) \quad (3.10)$$

olarak elde edilir. Ayrıca  $Le=1$  kabulü yapılarak kütle transfer katsayısı taşınım katsayısı

cinsinden yazılabilir yani  $h_D = \frac{h_o}{c_h}$  yazabiliriz. Buna göre  $w_{dy}$  nin bilindiği varsayılırsa bir

denklem ve bir bilinmeyen olacaktır.

### 3.2 Enerji Korunumu

Enerji korunum denklemleri çıkarılırken ıslak halde kanat verimi kullanılmış olup su filmi sıcaklığı kanatlar üzerinde aynı tarz dağılım gösterdiği kabul edilmiştir. Denklemlerde Bölüm 5'deki analiz esas alınmıştır.  $\rho_h$  nemli havanın özkütlesi;  $\gamma_h$  kontrol hacmindeki hava hacminin kontrol hacmine oranı;  $e_h$  hava entalpisi;  $G_h$  hava kütle akısı;  $h_{oi}$  hava ile boru ve kanatlar arasındaki toplam taşınım katsayısı;  $\eta_T$  toplam kanat verimi;  $e_{db}$  boru yüzey sıcaklığında doymuş hava entalpisi;  $b_y$  aşağıda açıklanacak olan boru yüzeyindeki yoğuşmuş hava sıcaklığındaki hayali entalpi katsayısı olmak üzere

$$\rho_h \gamma_h dV \frac{\partial e_h}{\partial t} = G_h e_{h,x+\Delta x} \Delta y \cdot dz - G_h e_{h,x} \Delta y \cdot dz - \frac{h_{oi} dA_o \eta_T}{b_y} (e_h - e_{db}) \quad (3.11)$$

veya Taylor seri açılımı yaparsak  $M_h$  kontrol hacmindeki hava kütlesi ( $M_h = \rho_h \gamma_h$ ) ve  $R_o$  boru ve kanatlardan havaya olan ısı taşınım direnci olmak üzere

$$M_h \frac{\partial e_h}{\partial t} = -G_h \frac{\partial e_h}{\partial x} - \frac{e_h - e_{db}}{b_y R_o} dV \quad (3.12)$$

Hava enerji denklemini elde edebiliriz. Burada eşitliğin solundaki terim havanın kontrol hacmi içindeki entalpisinin zamanla değişimini; sağdaki ilk terim kontrol hacminde x-yönündeki entalpi değişimini ve en sağdaki terim ise havadan yoğunlaşmış suya olan duyulur ısı transferini ifade etmektedir.

Boru dışı taşınım direnci  $R_o$ :

$$R_o = \frac{1}{h_o \eta_T dA_o} \quad (3.13)$$

Boru ve kanatlar için enerji denklemi

$$(\rho_b \gamma_b c_b + \rho_k \gamma_k c_k) dV \frac{\partial T_b}{\partial t} = -\frac{T_b - T_s}{R_i} + \frac{h_o dA_o \eta_T}{b_y} (e_h - e_{db}) \quad (3.14)$$

Veya

$$M_{cb} \frac{\partial T_b}{\partial t} = -\frac{T_b - T_s}{R_i} dV + \frac{e_h - e_{db}}{b_y R_o} dV \quad (3.15)$$

Olarak yazılabilir. Burada  $M_{cb}$  boru ve kanatların kütle kapasitansı ( $M_{cb} = \rho_b \gamma_b c_b + \rho_k \gamma_k c_k$ ),  $R_i$  ise borudan soğuk suya taşınım direncidir.

$$R_i = \frac{1}{h_i P_i dz} + \frac{\ln(d_o / d_i)}{2\pi k_b dz} \quad (3.16)$$

$h_i$  boru içi taşınım katsayısı,  $k_b$  boru iletim katsayısı,  $P_i$  boru iç çapı dairesel uzunluğu ( $P_i = \pi \cdot d_i$ ) olup boru içi taşınım katsayısı şu şekilde hesaplandı:

$$h_i = \frac{Nu_s k_s}{d_i} \quad (3.17)$$

$Nu$  sayısı (Incropera ve DeWitt, 1996) dan hesaplandı. Buna göre

$$\text{Laminer akış} \quad Re_s < 2300 \quad Nu_s = 4 \quad (3.18)$$

$$\text{Geçiş bölgesi} \quad 2300 \leq Re_s \leq 3000 \quad Nu_s = 4 + \frac{17.7 - 4}{3000 - 2300} (Re_s - 2300) \quad (3.19)$$

Türbülanslı  $3000 \leq Re_s \leq 5 \times 10^6$   $Nu_s = \frac{f_s(Re_s - 1000)Pr_s}{1 + 12.7f^{1/2}(Pr^{2/3} - 1)}$  (3.20)

Geçiş bölgesinde Nu sayısının Re sayısı ile lineer olarak değiştiği varsayılmıştır. Sürtünme katsayısı  $f_s$  ise

$$f_s = \frac{(0.709 \ln Re_s - 1.64)^{-2}}{8} \quad (3.21)$$

Olarak tanımlanır. Suya ait Re sayısı

$$Re_s = \frac{v_s d_i}{\nu_s} \quad (3.22)$$

$\nu_s$  su için kinematik viskozite ve  $v_s$  su hızıdır. Su hızını bir borudan geçen hacimsel debiyi boru içi akış alanına bölerek elde ederiz.

$$v_s = \frac{Q_s}{A_i} \quad (3.23)$$

Suya ait Pr sayısını kinematik viskoziteyi termal yayılım katsayısına bölerek elde ederiz.

$$Pr_s = \frac{\nu_s}{\alpha_s} \quad (3.24)$$

Termal diffüzyon (yayılım katsayısı) yoğunluk, öz ısı ve iletim katsayısından hesaplanır.

$$\alpha_s = \frac{k_s}{\rho_s c_s} \quad (3.25)$$

Soğuk suya ait enerji dengesi:

$$\rho_s \gamma_s c_s dV \frac{\partial T_s}{\partial t} = G_s c_s (T_s + dT_s) \Delta x \Delta y - G_s c_s T_s \Delta x \Delta y + \frac{T_b - T_s}{R_i} \quad (3.26)$$

veya

$$M_s c_s \frac{\partial T_s}{\partial t} = -G_s c_s \frac{\partial T_s}{\partial z} + \frac{T_b - T_s}{R_i} dV \quad (3.27)$$

Yukarıda anlatılan kütle ve enerji korunum denklemlerini özetleyecek olursak dört adet

denkleminiz olacak:

$$0 = G_h \frac{\partial w}{\partial x} dV + \frac{h_o}{c_h} dA_o (w - w_{dy}) \quad (3.28a)$$

$$M_h \frac{\partial e_h}{\partial t} = -G_h \frac{\partial e_h}{\partial x} - \frac{e_h - e_{db}}{b_y R_o} dV \quad (3.28b)$$

$$M_{cb} \frac{\partial T_b}{\partial t} = -\frac{T_b - T_s}{R_i} dV + \frac{e_h - e_{db}}{b_y R_o} dV \quad (3.28c)$$

$$M_s c_s \frac{\partial T_s}{\partial t} = -G_s c_s \frac{\partial T_s}{\partial z} + \frac{T_b - T_s}{R_i} dV \quad (3.28d)$$

Dikkat edecek olursak kütle korunum denkleminde  $h_{oi}$  toplam taşınım katsayısı yerine  $h_o$  taşınım katsayısı kullanıldı çünkü kütle transferi havadan yoğunlaşmış suya olmaktadır. Buna göre elimizde dört denklem ve dört bilinmeyen ( $w, e_h, T_s, T_b$ ) var. İlk denklemdeki  $w_{dy}$  bir başka bilinmeyen olan  $T_y$ 'nin fonksiyonu olup  $T_y$  için (Xin Yu,2004) yaklaşımı olan  $T_y = T_b + \Delta T$  kullanılacaktır. Burada ortalama olarak yoğunlaşmış suyun boru sıcaklığından  $\Delta T = 0.17^\circ\text{C}$  sıcak olduğu varsayılmıştır. (Xin Yu,2005)

Denklem (3.28) için sınır ve başlangıç değerleri şöyle olacaktır:

$$t = 0 \text{ için} \quad e_h(x, y, z, 0) = e_h^0, \quad T_b(x, y, z, 0) = T_b^0, \quad T_s(x, y, z, 0) = T_s^0$$

$$x = L_x \text{ de} \quad w(L_x, y, z, t) = w_i, \quad e_h(L_x, y, z, t) = e_{hi}$$

$$z = 0 \text{ da} \quad T_s(L_x, py, 0, t) = T_{si}$$

soğuk su için başlangıç şartında yer alan  $py$  konumu bataryanın devre sayısına göre değişecek olan bir değerdir. Farklı devre sayılı bataryalar için soğuk su girişi farklı konumlardan olacaktır.

Her kontrol hacmi için sıcaklık, entalpi ve nem değerleri bulunduktan sonra ortalama çıkış değerleri hesaplanacaktır. Hava için çıkış ortalama entalpisi batarya çıkışındaki her kontrol hacminin çıkış entalpileri integre edilerek bulunacaktır.

$$N_z N_b m_h e_{oh}(t) = \int_0^{L_z} \int_0^{L_y} G_h e_h(0, y, z, t) dy dz \quad (3.29)$$

Burada  $N_z$ ,  $N_b$ , ve  $m_h$  sabit olduğundan bu ifadeyi daha basit halde yazabiliriz:

$$e_{oh}(t) = \frac{1}{N_z} \sum_0^{N_z} \left( \frac{1}{N_b} \sum_0^{N_b} e_h(0, y, z, t) \right) \quad (3.30)$$

Soğutucu batarya için havadan transfer olan toplam ısı transferi ise şu şekilde yazılabilir:

$$q_h(t) = N_z N_b G_h \Delta y dz (e_{hi} - e_{ho}(t)) \quad (3.31)$$

## 4. BORU DIŞI TAŞINIM KATSAYISI

Bu bölümde ıslak ve kuru haller için Şu ana kadar yapılmış olan çalıŐmalardan bazılarına yer verilmiştir. Bu çalışmada da aşağıda anlatılan zorlanmış kanat akışına göre boru dışı taşınım katsayısı kullanılmıştır.

### 4.1 Giriş

1978'de McQuiston, kendi yaptığı deney sonuçlarına dayanarak düz kanatlı eşanjörler için ilk defa genel bir boru dışı taşınım katsayısını veren bağıntıyı önerdi (Wang v.d.,2000). Bununla birlikte Şu ana kadar soğutucu bataryalarda yođuŐmayı da göz önüne alan, ısı transfer katsayısını verecek standart bir bağıntı yoktur. Bu çalışmanın amacı ısı transfer katsayısı için bağıntılar geliŐtirmek olmadığı için sadece Şu ana kadar literatürde kullanılan bağıntılardan bazıları üzerinde durulup sonuçlar karŐılaŐtırılacaktır.

### 4.2 Araştırmacılar Tarafından Kullanılan Bağıntılar

#### 4.2.1 Zorlanmış Kanal Akışı

Soğutucu bataryalar için kanatlar arası mesafe kısa ve düzgündür. Bu yüzden kanatlar birbirine paralel geniş kanallar olarak düşünülebilir. Bu takdirde kanatlar arasındaki hava akışı kanal içi akış olarak kabul edilebilir.

Kanal akışı için nemli havanın Reynolds sayısı aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$Re_{d_h} = \frac{v_{\max} d_h}{\nu_h} \quad (4.1)$$

Burada  $v_{\max}$  kanal içi en dar kesitte hesaplanan maksimum hız,  $\nu_h$  nemli havanın kinematik viskozitesi,  $d_h$  ise hidrolik çapı göstermektedir.

Yoğuşmanın olmadığı kuru Şartlar için hız Şu Şekilde bulunur:

$$v_{\max} = \frac{Q_h}{A_{\min,k}} \quad (4.2)$$

$$A_{\min,k} = L_y L_z - N_c d_o L_z - (L_y - N_c d_o) \frac{L_z}{F_p} \delta_k \quad (4.3)$$

Burada  $F_p$  : kanat hatvesi olup  $F_p=1/n_k$

Islak durum için hız şöyle tanımlanır:

$$v_{\max} = \frac{Q_h}{A_{\min,t}} \quad (4.4)$$

$$A_{\min,t} = L_y L_z - N_c (d_o + 2\delta_y) L_z - [L_y - N_c (d_o + 2\delta_y)] \frac{L_z}{F_p} (\delta_k + 2\delta_y) \quad (4.5)$$

Hidrolik çap ise şöyle tanımlanmıştır:

$$d_h = \frac{4A_c}{P} \quad (4.6)$$

Kuru şartlar için parametreler şöyledir:

$A_c$  : Akışa dik kesit,

$$A_c = (F_p - \delta_k) (d_{\ddot{u}} - d_o) \quad (4.7)$$

$P$  :Islak çap

$$P = 2 (F_p - \delta_k) + 2 (d_{\ddot{u}} - d_o) \quad (4.8)$$

Islak şartlar için ise:

$$A_c = (F_p - \delta_k - 2\delta_y) (d_{\ddot{u}} - d_o - 2\delta_y) \quad (4.9)$$

$$P = 2 (F_p - \delta_k - 2\delta_y) + 2 (d_{\ddot{u}} - d_o - 2\delta_y) \quad (4.10)$$

Endüstride kullanılan çoğu bataryalarda Reynolds sayısı kanal akışının laminar olduğunu göstermektedir. Ayrıca akış yönünde kanal boyu kanal boşluğunun 10 katından daha büyük olduğu için akış tam gelişmiş olarak düşünülebilir. Bu yüzden üniform duvar sıcaklığı ve üniform ısı akısı sınır şartları için ortalama bir Nusselt sayısı kullanılabilir. (Incropera and

DeWitt, 1996), buna göre hava için Nu sayısı yaklaşık olarak 7.9 kabul edilmektedir. Böylece boru dışı taşınım katsayısı şöyle hesaplanabilir:

$$h_o = \frac{Nu_h k_h}{d_h} \approx \frac{7.9 k_h}{d_h} \quad (4.11)$$

Buna göre taşınım katsayısı değerleri Bölüm 4.2.4 de gösterilmiştir. Bu yaklaşıma göre yoğunlaşma oluşumu sadece hidrolik çap değerini etkiliyor.

#### 4.2.2 Stasiulevicius ve Skrinska Modeline Göre Değerlendirme

Bu bölümde Stasiulevicius ve Skrinska tarafında önerilen bir bağıntı anlatılacaktır. Bu bağıntı sadece çapraz boru düzeninde olan eşanjörlere uygulanabilir. Buna göre ısı taşınım katsayısı:

$$h_o = \frac{Nu_h k_h}{d_h} \quad (4.12)$$

$$Nu_h = 0.23 k_z \phi^{0.2} \left( \frac{d_o}{F_p} \right)^{-0.54} \left( \frac{h_f}{F_p} \right)^{-0.14} Re_{d_o}^{0.65} \quad (4.13)$$

$k_z$  düzeltme katsayısı olup boruların düzenlenmesine göre tablolardan bulunur( Stasiulevicius ve Skrinska ,1987)  $\phi$  kanat üzerinde ısı transferinin üniform olmayışı ile ilgili katsayıdır,  $h_f$  ise kanat boyu olup  $h_f=(d_e-d_o)/2$  ve Re sayısı da boru dış çapına göre

$$Re_{d_o} = \frac{v_{\max} d_o}{\nu_h} \quad (4.14)$$

şeklindedir.

$\phi$  aşağıdaki bağıntı ile bulunur:

$\phi=0.97-0.058 \ln h_f$  m kanat parametresi olup

$$m = \sqrt{\frac{2h_o}{k_k \delta_k}} \quad (4.15)$$

olarak verilir.

Kanat parametresi  $h_o$  in fonksiyonu ve  $h_o$  de kanat parametresi cinsinden yazıldığı için denklem (4.13) ve (4.15)  $h_o$  'i hesaplamak için eş zamanlı olarak iteratif yöntemle çözümlenmelidir.

#### 4.2.3 Wang Modeline Göre Değerlendirme (1)

Wang v.d. tarafından 1997'de ıslak durum için geliştirilen bir korelasyon tanıtılacaktır. Bağlantı düz kanatlı eşanjörler için olup Re sayısının 300 ile 5500 değerleri arasında geçerlidir. Bu bağlantı deney verilerinden yararlanılarak elde edilmiş olup test değerlerine göre %92'lik bir doğruluğa sahiptir.

Buna göre ıslak şartlar için boru dışı toplam taşınım katsayısı:

$$h_{oi} = \frac{1}{\frac{c_h}{b_y h_o} + \frac{\delta_y}{k_y}} \quad (4.16)$$

Şeklinde tanımlanmış olup pratikte  $\frac{\delta_y}{k_y}$  terimi  $\frac{c_h}{b_y h_o}$  teriminin %0.5 ila %5 arasında değişen değerler mertebesinde olup çoğu zaman ihmal edilir. Wang v.d. da bu terimi ihmal etmiş ve denklem şu şekle dönmüştür:

$$h_{oi} = \frac{1}{\frac{c_h}{b_y h_o}} \quad (4.17)$$

Burada  $h_o$  nemli havadan yoğunlaşmış suya olan taşınım katsayısı olup

$$h_o = \frac{j_c \rho_h v_{\max} c_h}{Pr_h^{2/3}} \quad (4.18)$$

$j_c$  : Boyutsuz Chilton Culborn katsayısı

$v_{\max}$  : Denklem (4.3)de tanımlandığı gibi

$Pr_h$  : Nemli havanın Prandtl sayısı

$$Pr_h = \frac{\nu_h}{\alpha_h} \quad (4.19)$$

$\alpha_h$  ise havanın termal yayılım katsayısı olup:

$$\alpha_h = \frac{k_h}{\rho_h c_h} \quad (4.20)$$

şeklinde tanımlanır.

$$j_c = 0.4 Re_{d_o}^{-0.468+0.04076} N_r \left(\frac{A_o}{A_t}\right)^{0.159} N_r^{-1.261} \quad (4.21)$$

$Re_{d_o}$  : boru dış çapı  $d_o$  a göre yazılmış Re sayısıdır.

Wang v.d.. tarafından izlenen yol şu şekildedir:

$h_{oi}$  deneysel sıcaklık verilerinden hesaplanmış olup  $h_o$  denklem (4.17)'dan,  $j_c$  denklem (4.18)

den hesaplanmıştır. Bu çalışmada Wang v.d. bağıntısını elde ederken yaptığı deneylerde denklem (5.10) daki yoğuşma kalınlığını ihmal etmiştir. Bu yüzden  $h_{oi}$  hesaplanırken deneysel verilere daha yakın olması için denklem (4.17) kullanılmalıdır.

#### 4.2.4 Wang Modeline Göre Değerlendirme (2)

Bu çalışma da boru dışına göre hesaplanmış olan Re sayısının 300-5000 arasındaki değerleri arasında, ıslak şartlar için düz kanatlara uygulanmıştır. Wang v.d. tarafından deneysel verilere dayanarak bir bağıntı elde edilmiştir. Bağıntı deney verilerinin %93.4'ünü %±15'lik bir aralık için %6.33'lük bir sapma ile vermektedir.

Colburn faktörü aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır:

$$j_c = 19.36 \text{Re}_{d_o}^{j_1} \left( \frac{F_p}{d_o} \right)^{1.352} \left( \frac{\Delta x}{\Delta y} \right)^{0.6795} N_r^{-1.291} \quad (4.22)$$

Eşitlikteki j1 faktörü de şu şekilde verilmiştir:

$$j_1 = 0.3745 - 1.554 \left( \frac{F_p}{d_o} \right)^{0.24} \left( \frac{\Delta x}{\Delta y} \right)^{0.12} N_r^{-0.19} \quad (4.23)$$

$\Delta x$ : Hava akışına dik borular arası uzaklık(transversal mesafe)

$\Delta y$ : Hava akışı yönündeki borular arası uzaklık (longitudinal mesafe)

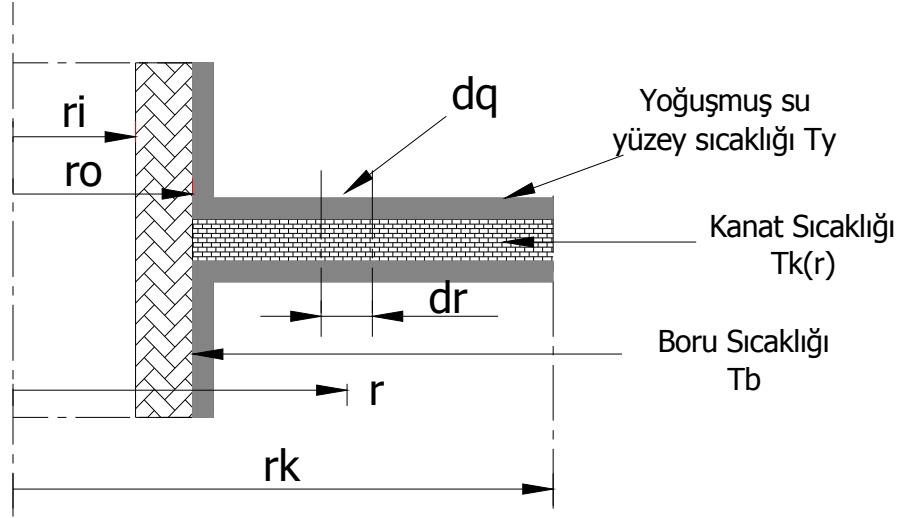
**Çizelge 4.1 Farklı yaklaşımlara göre boru dışı taşınım katsayısı değerleri**

Hava Hacimsel Debisi (l/s)	Taşınım Katsayısı (W/m <sup>2</sup> .K)			
	945		1510	
Yöntem	Kuru	Islak	Kuru	Islak
Kanal Akışı	45,65	50,59	45,65	50,59
Stasiulevicius ve Skrinska (1987) (kuru)	23,34	-	31,68	-
Wang v.d.. (2000) (ıslak)	-	66,72	-	87,55
Wang v.d.. (1997) (ıslak)	-	82,90	-	119,41

## 5. ISLAK KANAT VERİMİ VE ISI TRANSFER KATSAYISI

Bu bölümde ıslak hal için enerji denklemlerinde kullanılan ısı transfer katsayısı ve kanat veriminin Kuehn v.d. (1998) yaklaşımı ile çıkarılması anlatılmıştır.

Şekil 5.1 de yoğuşmuş su ile kaplı ıslak kanat gösterilmiştir.  $r$  konumunda kanat sıcaklığı  $T_k(r)$  olup ısı enerjisi sırasıyla havadan yoğuşmuş suya, yoğuşmuş sudan boru ve kanatlara ve oradan da boru içerisindeki soğuk suya doğru transfer olmaktadır.



Şekil 5.1 Islak kanat için şematik gösterim

Denklem 3.11'deki gibi  $r$  konumunda havadan yoğuşmuş suya olan ısı transferi şu şekilde yazılabilir:

$$dq = \frac{h_o}{c_h} (e_h - e_{dy}) d \left[ 2\pi (r^2 - r_o^2) \right] \quad (5.1)$$

Bu denklemde sağ taraftaki alanın diferansiyeli alınırsa:

$$dq = \frac{4\pi h_o}{c_h} (e_h - e_{dy}) r dr \quad (5.2)$$

Denklemini elde edilir.

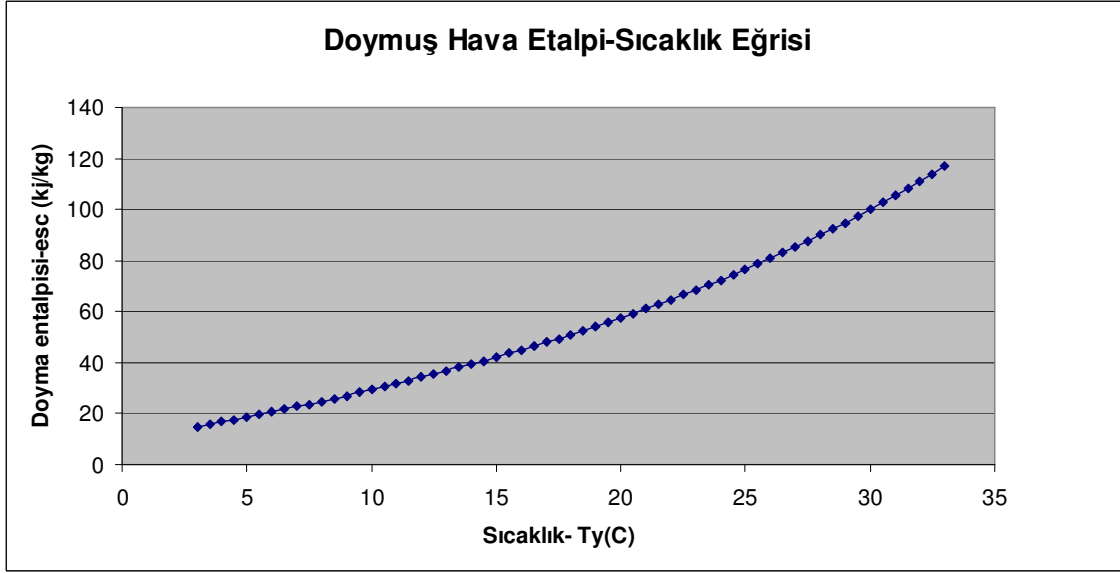
Yoğuşmuş su filminden boruya olan ısı transferi yine benzer şekilde:

$$dq = k_s \frac{T_y - T_k}{\delta_y} d \left[ 2\pi (r^2 - r_o^2) \right] \quad (5.3)$$

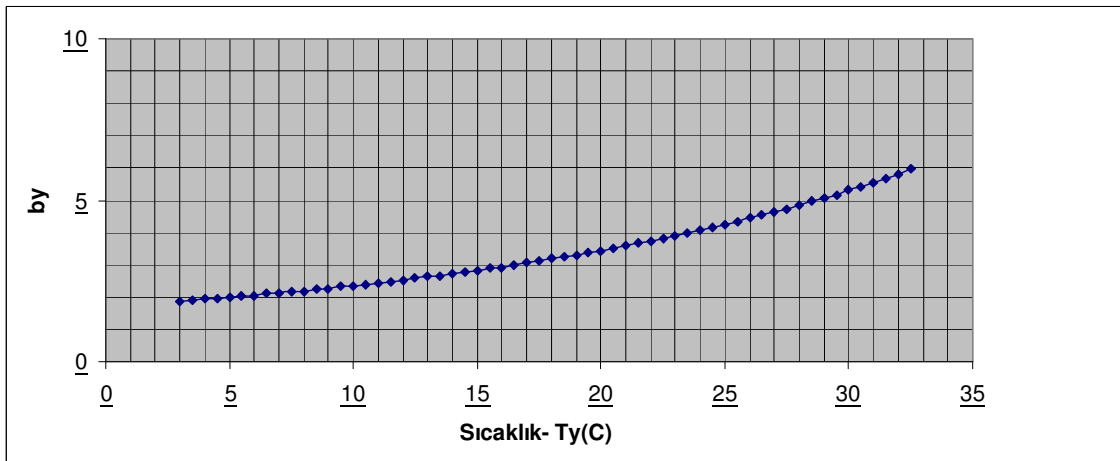
Yine bunu da diferansiyel olarak yazacak olursak

$$dq = \frac{4\pi k_s}{\delta_y} (T_y - T_k) r dr \quad (5.4)$$

Denklemini elde ederiz. Denklem 5.2 ve Denklem 5.4'ü birleştirmek için yine Kuehn (1998) tarafından kullanılan hayali entalpi kullanılacaktır. Bunu doymuş nemli hava entalpisi tanımından alacağız. Doymuş hava entalpisini kısa bir sıcaklık aralığında şöyle ifade edebiliriz:



Şekil 5.2 Doymuş havaya ait entalpi-sıcaklık eğrisi



Şekil 5.3 Doymuş havaya ait sıcaklık-entalpi katsayısı eğrisi

$$e_x = a_x + b_x T_x \quad (5.5)$$

$a_x$  ve  $b_x$  parametreleri  $T_x$  sıcaklığında alınır. Buna göre herhangi bir  $T_y$  (yoğuşma) sıcaklığındaki hayali entalpiyi şöyle ifade edeceğiz:

$$e_y = a_y + b_y T_y \quad (5.6)$$

Böylece Denklem 5.4'ü, Denklem 5.6 kullanarak entalpi cinsinden tekrar yazacak olursak

$$dq = \frac{4\pi k_s}{b_y \delta_y} (e_{dy} - e_{hk}) r dr \quad (5.7)$$

Burada  $e_{hk}$ : kanat üzerindeki hayali entalpi ve  $e_{dy}$ : yoğuşmuş su üzerindeki doymuş hava entalpisidir. Şimdi Denklem 5.2 ile Denklem 5.7 yi birleştirebiliriz. Böylece  $e_{dy}$  terimi kalkmış olacaktır.

$$dq = \frac{4\pi h_{oi}}{b_y} (e_h - e_{hk}) r dr \quad (5.8)$$

Veya bunu da entalpi potansiyeli gösterimini kısaltarak yazarsak:

$$dq = \frac{4\pi h_{oi}}{b_y} \Delta e_h r dr \quad (5.9)$$

Olarak yazarız. Bu denklemdeki  $h_{oi}$  : ıslak şartlar için toplam transfer katsayısı olup:

$$h_{oi} = \frac{1}{\frac{c_h}{b_y h_o} + \frac{\delta_y}{k_s}} \quad (5.10)$$

Olarak tanımlanmıştır.  $\Delta e_h$ : Entalpi farkıdır:

$$\Delta e_h = e_h - e_{hk} \quad (5.11)$$

Üzerinde yoğuşmuş su filmi bulunan kanatlı bir diferansiyel kontrol hacmi için enerji dengesi:

$$q_r - q_{r+\Delta r} + \frac{4\pi h_{oi}}{b_y} (e_h - e_{hk}) r dr = 0 \quad (5.12)$$

Veya Fourier'in iletim yasasını kullanacak olursak

$$\frac{d}{dr} \left( k_k 2\pi r \delta_k \frac{dT_k}{dr} \right) + \frac{4\pi h_{oi}}{b_y} (e_h - e_{hk}) r = 0 \quad (5.13)$$

Kanat boyunca hava entalpisi sabit olduğundan Denklem 5.6 ve Denklem 5.11 kullanılarak

$$\frac{d^2 \Delta e_{hk}}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{\Delta e_{hk}}{dr} - \frac{2h_{oi}}{k_k \delta_k} \Delta e_{hk} r = 0 \quad (5.14)$$

Veya kanat parametresini  $m$  ile gösterecek olursak:

$$\frac{d^2 \Delta e_{hk}}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{\Delta e_{hk}}{dr} - m^2 \Delta e_{hk} r = 0 \quad (5.15)$$

Denklemini elde ederiz. Kanat parametresi şu şekilde tanımlanmıştır.

$$m^2 = \frac{2h_{oi}}{k_k \delta_k} \quad (5.16)$$

Denklem 5.15 için  $r_0$  da Dirichlet ve  $r_k$  da Neuman sınır şartları biliniyor:

$$r = r_0 \text{ da} \quad \Delta e_{hk} = \Delta e_{hb} = e_h - e_{hb} \quad (5.17a)$$

$$r = r_k \text{ da} \quad \frac{\Delta e_{hk}}{dx} = 0 \quad (5.17b)$$

yukarıdaki  $e_{hb}$  kanat dibi sıcaklığındaki hayali entalpi farkı olup  $a_y$  ve  $b_y$  ile yoğuşmuş su film sıcaklığı  $T_y$  de hesaplanan  $T_b$  ile aynıdır.

Kanat parametresi sabit kabul edildi ve bu varsayımla Denklem 5.15 çözümü Incropera ve Dewitt (1996)'in kuru şartlar için yaptığı çözümle aynı formdadır. Buna göre çözüm aşağıdaki gibi olacaktır. (Incropera ve Dewitt, 1996)

$$\frac{\Delta e_{hk}}{\Delta e_{hb}} = \frac{I_0(m r) K_1(m r_k) - K_0(m r) I_1(m r_k)}{I_0(m r_0) K_1(m r_k) + K_0(m r_0) I_1(m r_k)} \quad (5.18)$$

Kanat dibindeki gerçek ısı transferi:

$$q = -k_k 2\pi r \delta_k \left. \frac{dT_k}{dr} \right|_{r=r_0} \quad (5.19)$$

veya

$$q = \frac{k_k 2\pi r \delta_k}{b_y} \frac{d\Delta e_{hk}}{dr} \Big|_{r=r_o} \quad (5.20)$$

türev için Denklem 5.18 kullanırsak Denklem 5.20 şu hale gelecektir:

$$q = \frac{2\pi r_o k_k \delta_k}{b_y} m \frac{I_1(m r_k) K_1(m r_o) - K_1(m r_k) I_1(m r_o)}{I_0(m r_o) K_1(m r_k) + K_0(m r_o) I_1(m r_k)} \Delta e_{hb} \quad (5.21)$$

Eğer tüm kanat taban sıcaklığında olacak olsa ısı transferi şöyle olacaktır:

$$q = \frac{h_{oi} 2\pi (r_k^2 - r_o^2)}{b_y} \Delta e_{hb} \quad (5.22)$$

Kanat verimi, gerçek ısı transferinin, tüm kanat taban sıcaklığında kabul edildiği durumdaki ısı transferine oranı olarak tanımlanır:

$$\eta_k = \frac{2r_o}{m(r_k^2 - r_o^2)} \frac{I_1(m r_k) K_1(m r_o) - K_1(m r_k) I_1(m r_o)}{I_0(m r_o) K_1(m r_k) + K_0(m r_o) I_1(m r_k)} \quad (5.23)$$

Toplam verim de şöyle tanımlanır:

$$\eta_T = \frac{A_b + A_k \eta_k}{A_o} \quad (5.24)$$

Dolayısıyla boru ve kanatları içine alan diferansiyel bir alan için gerçek ısı transferi:

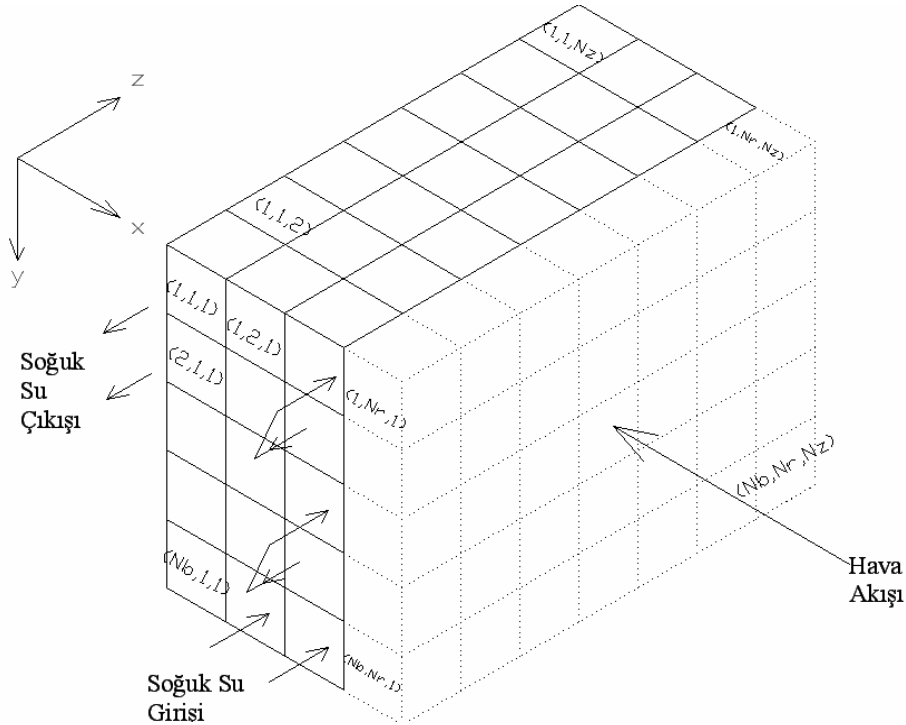
$$q = \frac{h_{oi} dA_o}{b_y} \Delta e_{hb} \eta_T \quad (5.25)$$

Yukarıda kanat parametresi  $m$ 'yi sabit kabul ettik. Halbuki Denklem 5.16'dan  $m$ 'nin  $h_{oi}$ ,  $k_k$  ve  $\delta_k$ 'in fonksiyonu olduğunu görüyoruz. Bunlardan  $k_k$  ve  $\delta_k$  sabit olup  $h_{oi}$  Denklem 5.10'dan görüleceği üzere  $c_h$  ve  $b_y$ 'nin fonksiyonudur.  $b_y$  kanat üzerindeki yoğunlaşmış su sıcaklığında alınan bir parametre olup  $c_h$ , kontrol hacmine giriş havası sıcaklık ve neminde hesaplanmak suretiyle her ikisi de simülasyon boyunca güncellenmektedir. Bunlara bağlı olarak kanat parametresinin değişimi ise sonuçları nispeten daha az etkilediğinden sadece simülasyonun başında hesaplanarak sabit kabul edildi.

## 6. NÜMERİK YÖNTEM

### 6.1. Matematik Modelin Ayırıklaştırılması

Islak şartlar için matematik model Bölüm 3 de çıkarılmıştır. Denklemlerin analitik çözümü çok zor olacağından kontrol hacmi ayırıklaştırılmasına dayanan nümerik yöntem kullanılmıştır. Böylece denklemlerdeki 4 bilinmeyen  $T_h$ ,  $T_s$ ,  $T_b$  ve  $\omega$  zamana bağlı çözülecektir. Zamana bağlı türevler açık yöntem (explicit) kullanılarak; konum değişkenlerine bağlı türevler de 'upwind difference' yaklaşımı ile ifade edilecektir. Esasında kapalı yöntem (implicit), zaman aralığından bağımsız olarak daha gerçekçi sonuçlar vermesine rağmen çok fazla hesap zamanı ve yüksek kapasitede bilgisayar belleği gerektirmektedir. Bunun yanında zaman ve konum artımları için belirli sınırlarda kalmak şartıyla açık yöntem de gerçekçi sonuçlar vermekte ve hesap zamanını kısaltmaktadır. Denklemlere ait x-konum değişkeni- Matlab programı matris formuna uygun olması için- 'j' indisi ile gösterilmiş olup hava akışı doğrultusundadır. j 1 den  $N_r$ 'ye kadar değer almakta olup  $N_r$  boru sıra sayısına göre değişecektir. Bu çalışmada 2,4 ve 6 devreli bataryalar incelenmiş olup  $N_r$  sırasıyla 2, 4 ve 6 değerini alacaktır. Diğer konum değişkeni y ise 'i' indisi ile gösterilmiştir. i 1 den  $N_b$ ' ye kadar değişecektir.  $N_b$  değeri üst üste toplam boru sayısı kadar olup bu çalışmada 32'dir.



Şekil 6.1 Bataryaya ait konum ayırıklaştırması

Konum değişkeni z ise 'k' indisi ile gösterilmiş ve 1 den  $N_z$ 'ye kadar değer alacaktır.  $N_z$ 'in değeri ise z yönündeki ayrıklaştırma ile belirlenmiş olup bu çalışmada 30'dur. Şekil 6.1 batarya hacminin indislere bağlı olarak ayrıklaştırılmasını göstermektedir. Şekilde nokta nokta ile belirtilen kısımlar bataryaya ait olmayıp nemli hava sınır şartlarını göstermektedir. Soğuk suyun dolaştığı boruların sadece bir kısmı gösterilmiş olup bu yollar farklı bataryalar için farklı olarak Bölüm 7'deki batarya teknik resimlerinden takip edilebilir. Batarya birbirine eşit kontrol hacimlerine bölünmüş ve her hacim (i,j,k) şeklindeki indislerle ifade edilmiştir. Her indis bulunduğu kontrol hacminin çıkış özelliklerini ifade edecektir.

Denklem (3.28)'deki modelleri tekrar hatırlayacak olursak önce açık yöntem kullanılarak zaman değişkeni ardından da upwind difference yöntemi ile konum değişkenleri ayrıklaştırılmıştır. Buna göre denklemleri soğutucu akışkan suyun akış yönüne göre iki kere yazacağız.

Soğuk su pozitif z yönünde ilerlerken

$$0 = G_h \frac{w'_{i,j,k} - w'_{i,j+1,k}}{\Delta x} \Delta V + \frac{h_o}{c_h} dA_o (w'_{i,j,k} - w'_{dy,i,j,k}) \quad (6.1a)$$

$$M_h \frac{e'_{h,i,j,k} - e'_{h,i,j,k}}{\Delta t} = -G_h \frac{e'_{h,i,j,k} - e'_{h,i,j+1,k}}{\Delta x} - \frac{e'_{h,i,j,k} - e'_{db,i,j,k}}{b_y R_o \Delta V} \quad (6.1b)$$

$$M_{cb} \frac{T'_{b,i,j,k} - T'_{b,i,j,k}}{\Delta t} = -\frac{T'_{b,i,j,k} - T'_{s,i,j,k}}{R_i \Delta V} + \frac{e'_{h,i,j,k} - e'_{db,i,j,k}}{b_y R_o \Delta V} \quad (6.1c)$$

$$M_{s,c_s} \frac{T'_{s,i,j,k} - T'_{s,i,j,k}}{\Delta t} = -G_{s,c_s} \frac{T'_{s,i,j,k} - T'_{s,i,j,k-1}}{\Delta z} + \frac{T'_{b,i,j,k} - T'_{s,i,j,k}}{R_i \Delta V} \quad (6.1d)$$

Soğuk su negatif z yönünde giderken ise:

$$M_{s,c_s} \frac{T'_{s,i,j,k} - T'_{s,i,j,k}}{\Delta t} = -G_{s,c_s} \frac{T'_{s,i,j,k} - T'_{s,i,j,k+1}}{\Delta z} + \frac{T'_{b,i,j,k} - T'_{s,i,j,k}}{R_i \Delta V} \quad (6.1e)$$

Şeklinde olup diğer denklemler aynı kalacaktır.

Denklem (6.1) yeni sıcaklık, entalpi ve nem değerleri için çözülecek forma getirildi ve aşağıdaki eşitlikler elde edilmiştir.

Soğuk suyun pozitif z yönünde ilerlemesi durumunda denklemlerimiz şu hale gelecektir:

$$w'_{i,j,k} = \frac{1}{H_w} \left( \frac{G_h \Delta V}{\Delta x} w'_{i,j+1,k} + \frac{h_o dA_o}{c_h} w'_{dy,i,j,k} \right) \quad (6.2a)$$

$$e'_{h,i,j,k} = \frac{\Delta t}{M_h} \left( H_h e'_{h,i,j,k} + \frac{G_h}{\Delta x} e'_{h,i,j+1,k} + \frac{1}{b_y R_o \Delta V} e'_{db,i,j,k} \right) \quad (6.2b)$$

$$T'_{b,i,j,k} = \frac{\Delta t}{M_b} \left( H_b T'_{b,i,j,k} + \frac{1}{R_i \Delta V} T'_{s,i,j,k} + \frac{1}{b_y R_o \Delta V} e'_{h,i,j,k} - \frac{1}{b_y R_o \Delta V} e'_{db,i,j,k} \right) \quad (6.2c)$$

$$T'_{s,i,j,k} = \frac{\Delta t}{M_s c_s} \left( H_s T'_{s,i,j,k} + \frac{G_s c_s}{\Delta z} T'_{s,i,j,k-1} + \frac{1}{R_i \Delta V} T'_{b,i,j,k} \right) \quad (6.2d)$$

Soğuk su negatif z yönünde giderken ise suya ait denkleminiz:

$$T'_{s,i,j,k} = \frac{\Delta t}{M_s c_s} \left( H_s T'_{s,i,j,k} + \frac{G_s c_s}{\Delta z} T'_{s,i,j,k+1} + \frac{1}{R_i \Delta V} T'_{b,i,j,k} \right) \quad (6.2e)$$

Olup diğer denklemler aynı kalacaktır.

Yukarıdaki denklemlerdeki kullanılan  $H_w$ ,  $H_h$ ,  $H_b$  ve  $H_s$  birleştirilmiş parametreler aşağıdaki gibidir:

$$H_w = \frac{G_h \Delta V}{\Delta x} + \frac{h_o dA_o}{c_h} \quad (6.3a)$$

$$H_h = \frac{M_h}{\Delta t} - \frac{G_h}{\Delta x} - \frac{1}{b_y R_o \Delta V} \quad (6.3b)$$

$$H_b = \frac{M_b}{\Delta t} - \frac{1}{R_i \Delta V} \quad (6.3c)$$

$$H_s = \frac{M_s c_s}{\Delta t} - \frac{G_s c_s}{\Delta z} - \frac{1}{R_i \Delta V} \quad (6.3d)$$

Şu an elimizde 4 denklem ve dört bilinmeyen  $w'_{i,j,k}$ ,  $e'_{h,i,j,k}$ ,  $T'_{b,i,j,k}$  ve  $T'_{s,i,j,k}$  olup  $w'_{dy,i,j,k}$  (yerel doyma nemi)  $T'_{b,i,j,k}$  ile belirlenmektedir. Ayrıca  $T_y$  (yoğuşmuş su sıcaklığı) enerji

denklemlerden direkt olarak elde edilmiyor. Normalde  $T_y$  sıcaklığı, boru-kanat yüzey sıcaklığı ve yoğuşmuş su filmi arasındaki termal dirençten bulunabilir fakat bu çalışmada yoğuşmuş su sıcaklığı boru yüzey sıcaklığından  $0.17^\circ\text{C}$  fazla kabul edilmiştir.

Denklemlerin çözümü için gerekli olan başlangıç ve sınır şartları ise şöyledir:

$$t = 0 \text{ da} \quad w_{i,j,k}^0 = w^0, \quad e_{h,i,j,k}^0 = e_h^0, \quad T_{b,i,j,k}^0 = T_b^0, \quad T_{s,i,j,k}^0 = T_s^0 \quad (6.4a)$$

$$j = N_r \text{ de} \quad w_{i,j-1,k}^t = w_i^t, \quad e_{h,i,j-1,k}^t = e_{hi}^t \quad (6.4b)$$

$j = N_{r-1}$ ,  $k = 0$  ve  $i = N_b$  (farklı soğuk su giriş konumları için  $i$  farklı değer alır) de:

$$T_{s,i,j,k}^t = T_{si}^t \quad (6.4c)$$

Bir diğer sınır şartı da:  $z$  doğrultusunda her soğuk su borusu çıkış sıcaklığı takip eden borunun giriş sıcaklığına eşittir. (yani boru kıvrımlarında ısı transferi olmadığı kabul edildi.)

## 6.2 Açık Yöntemin Kararlılık Analizi

Diferansiyel denklemlerin nümerik çözümünde açık yöntem kullanılmıştır. Gao v.d. (2002) tarafından bir boruya ait ısı transfer problemine ait açık ve kapalı yöntem incelenmiştir. Sonuçlar kararlılık kriterinin sağlanması durumunda açık yöntem gerçek sonuçlar vermiştir. Bu bölümde açık yöntemin kararlılığı incelenecektir.

Denklem (6.1b), (6.1c) ve (6.1d) birinci dereceden dalga denklemi formundadır. Islak modele ait mutlak nem ifadesi Denklem (6.1a) kararlılık testi gerektirmez. Çünkü mutlak nem zamanın bir fonksiyonu değildir. Özışık (1994)'e göre kararlılık kriteri:

$$0 \leq Co + Cs \leq 1 \quad (6.5)$$

Burada  $Co$ : Courant sayısı ve  $Cs$ : Termal transfer katsayısı olup her ikisi de boyutsuzdur. Aşağıda denklemlerin kararlılık kriterine uyma şartları bulunacaktır.

Denklem (6.2b)'deki  $H_h$  katsayısı hatırlanacak olursa

$$H_h = \frac{M_h}{\Delta t} - \frac{G_h}{\Delta x} - \frac{1}{b_y R_o \Delta V} \quad (6.3b)$$

Kararlılık için  $H_h$ 'nın sifıra eşit veya büyük olması gerekmektedir. Denklem (6.3b)'ye göre

Courant sayısı ve termal transfer katsayısı şu şekilde verilir:

$$Co = \frac{G_h \Delta t}{\Delta x M_h} \quad (6.6)$$

$$Cs = \frac{1}{b_y R_o \Delta V} \frac{\Delta t}{M_h} \quad (6.7)$$

Denklem (6.5) deki şartı sağlamak için Denklem (6.6) ve (6.7)'deki katsayılar aşağıdaki gibi olmalıdır:

$$0 \leq \frac{G_h \Delta t}{\Delta x M_h} + \frac{1}{b_y R_o \Delta V} \frac{\Delta t}{M_h} \leq 1 \quad (6.8)$$

Düzenleyecek olursak:

$$0 \leq \Delta t \leq \frac{\rho_h b_y R_o \Delta V_h}{1 + \rho_h b_b R_o Q_h} \quad (6.9)$$

Zaman için maksimum zaman adımı Denklem (6.9) dan hesaplanır. Bu denklemden maksimum zaman adımının havanın debisiyle ters orantılı olduğu ortaya çıkar.

Şimdi Denklem (6.2d)'deki  $H_s$  katsayısını hatırlayacak olursak:

$$H_s = \frac{M_s c_s}{\Delta t} - \frac{G_s c_s}{\Delta z} - \frac{1}{R_i \Delta V} \quad (6.3d)$$

Yine kararlılık için  $H_s$ 'in sifıra eşit veya büyük olması icap eder. Denklem (6.3d)'ye göre katsayıları tekrar yazacak olursak:

$$Co_s = \frac{G_s c_s}{\Delta z} \frac{\Delta t}{M_s c_s} \quad (6.10)$$

Veya

$$Co_s = \frac{G_s}{M_s} \frac{\Delta t}{\Delta z} \quad (6.11)$$

Termal transfer katsayısı ise:

$$Cs_s = \frac{1}{R_i \Delta V} \frac{\Delta t}{M_s c_s} \quad (6.12)$$

Denklem (6.5) deki şartı sağlamak için Denklem (6.11) ve (6.12)'deki katsayılar aşağıdaki gibi olmalıdır:

$$0 \leq \frac{G_s \Delta t}{M_s \Delta z} + \frac{1}{R_i \Delta V} \frac{\Delta t}{M_s c_s} \leq 1 \quad (6.13)$$

Bu denklemi de düzenleyerek z yönündeki ayırıklaştırma mesafesinin hangi aralıkta olması gerektiğini bulabiliriz:

$$\frac{Q_s \rho_s c_s \Delta z \Delta t R_i}{\rho_s c_s \Delta V_s R_i - \Delta t} \leq \Delta z \leq L_z \quad (6.14)$$

Yukarıdaki denklemden de görüleceği üzere zaman artımı belirlendikten sonra minimum ayırıklaştırma mesafesi belirlenmiş olacaktır.

Şimdi Denklem (6.3c)'yi hatırlayacak olursak:

$$H_b = \frac{M_b}{\Delta t} - \frac{1}{R_i \Delta V} \quad (6.3c)$$

Buradan  $C_{0b} = 0$  ve  $C_{sb}$  de yine benzer şekilde:

$$C_{sb} = \left( \frac{1}{R_i \Delta V} + \frac{1}{R_o \Delta V} \right) \frac{\Delta t}{M_b} \quad (6.15)$$

Denklem (6.5)'deki kararlılık şartının yerine getirmek için ise termal transfer katsayısının bulunması gereken aralık:

$$0 \leq C_{sb} \leq 1 \quad (6.16)$$

Yukarıdaki şartlar program yazılırken kontrol edilmiş olup zaman ve yer değiştirme adımları istenen aralıklarda seçilmiştir.

### 6.3 Nümerik Hesabı Etkileyen Faktörler

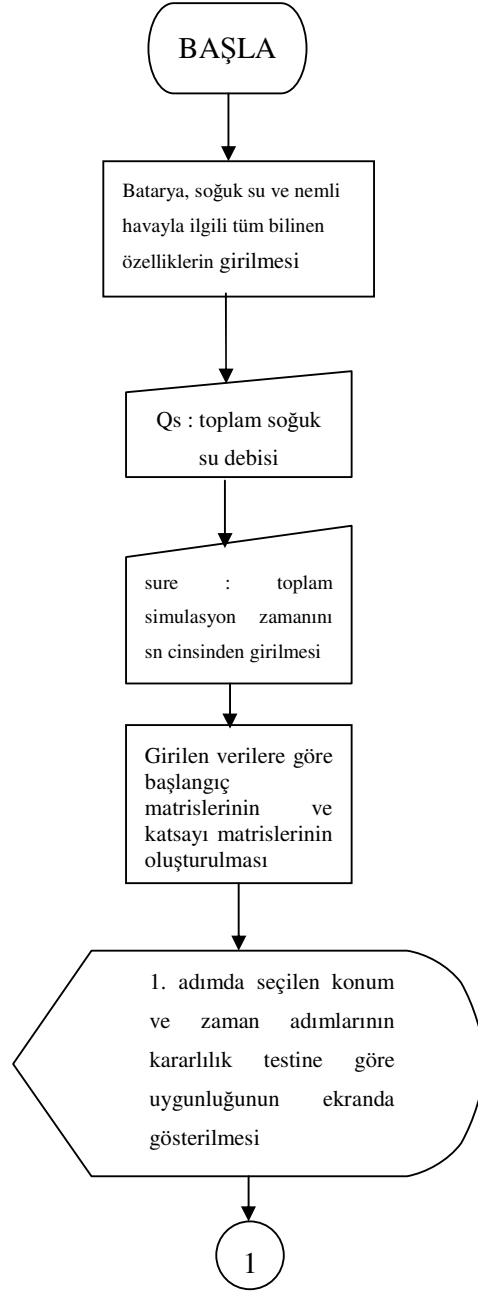
Yapılan hesaplamalarda hava entalpisi, mutlak nemi, soğuk su ve boru sıcaklığının yeni değerleri  $c_h$ ,  $b_y$  ve  $R_o$  gibi parametrelere bağlı olarak bulunmuştur. Bu parametreler ise yerel sıcaklık ve mutlak neme bağlı olarak değişmektedir. Mesela  $R_o$  (boru dışı termal direnç):  $h_{oi}$  ve  $\eta_T$ 'in fonksiyonu olup  $h_{oi}$  da  $c_h$  ve  $b_y$  ile değişmektedir ki bunlar da yerel sıcaklık ve

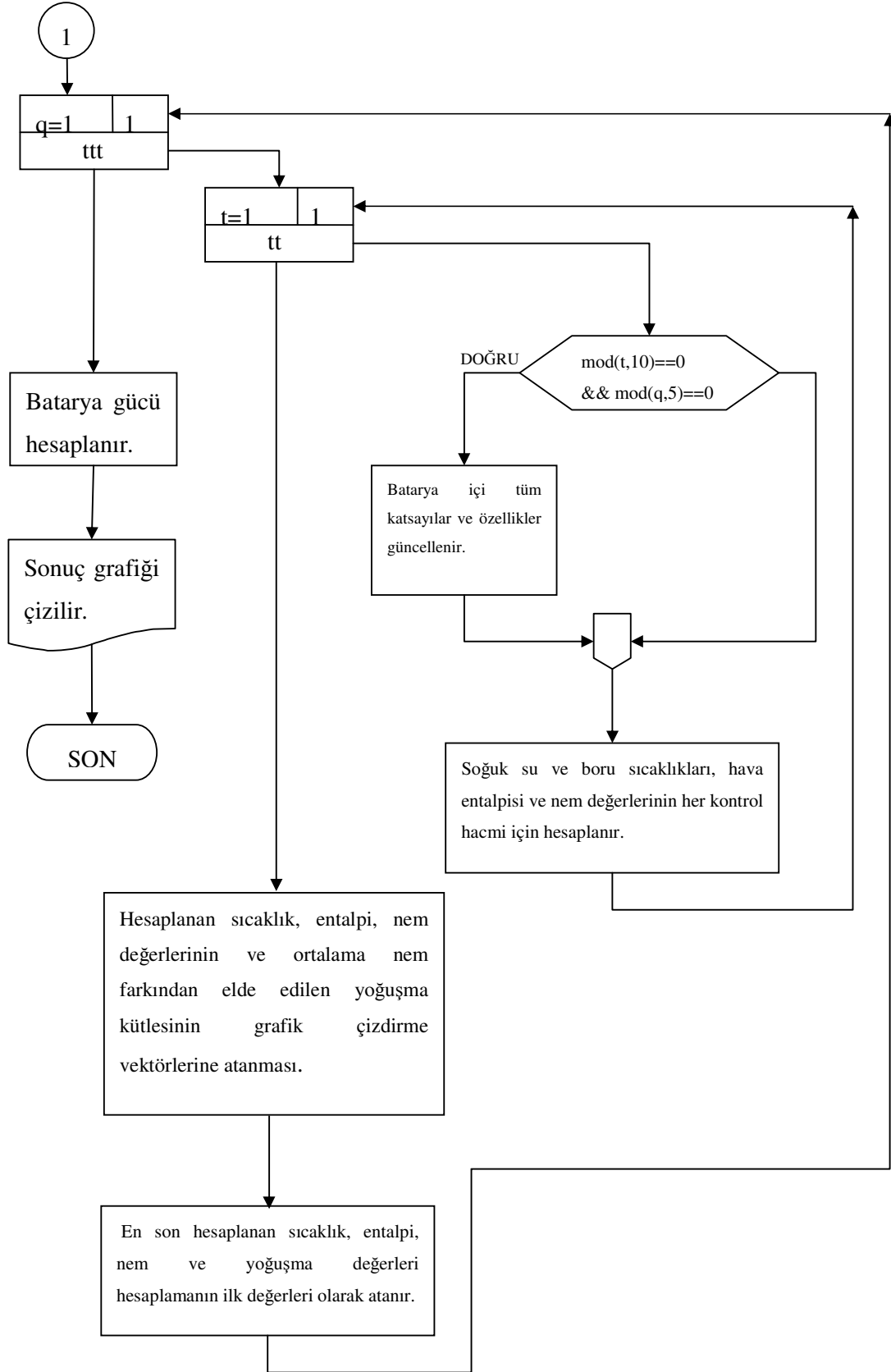
mutlak neme bağılı değişim göstermektedir.  $\eta_T$ , kanat verimi  $\eta_k$ 'nın fonksiyonu olup bu da  $h_{o1}$  ile değişmektedir. Bunlardan  $\eta_k$ 'nın  $h_{o1}$  ile değişimi ihmal edilebilecek mertebede olup diğer değişimler göz önüne alınmıştır. Parametre ve katsayıları her zaman adımında yenilemek çok fazla hesap zamanı gerektirecek ve gereksiz olacaktır. Çünkü çok kısa zaman aralığı için hesap yapacak olan programda sıcaklıkların hissedilebilir oranda değişimi en düşük 50 zaman adımında bir olacağından bu programda katsayıları 50 adımda bir yenilendi.

#### 6.4 Nümerik Hesap Algoritması

Çözüm algoritması esas alınmak suretiyle, Matlab programlama dili kullanılarak 3 batarya için uygun kod yazılmıştır. Program havaya ait entalpi ve nem ile soğuk su sıcaklıklarını hesaplayıp zamana bağılı ortalama değerleri çizdirecektir. Genel olarak programın işleyişi şu şekildedir:

- 1) Tanımlamalar: Batarya, soğuk su ve nemli havayla ilgili tüm bilinen özelliklerin girilmesi
- 2) Soğuk su debisi ve istenen simülasyon zamanı klavyeden girilmesi
- 3) Girilen verilere göre başlangıç matrislerinin ve katsayı matrislerinin oluşturulması
- 4) 1. adımda seçilen konum ve zaman adımlarının kararlılık testine göre uygunluğunun ekranda gösterilmesi
- 5) Başlangıç şartlarına göre nümerik denklemlerin iç içe iki döngü içersinde çözülmesi: İçteki döngü 10 zaman adımınca denklemleri çözecek ardından bulunan son değerler grafik çizdirme vektörlerine ilk değer olarak atanacaktır. Bundan sonra bu son değerler dıştaki döngünün yeni adımının ilk değerlerine eşitlenerek hep aynı şekilde dış döngü bitesiyeye kadar devam edecektir.
- 6) Grafik vektörleri kullanılarak grafik çizdirilecek.





Şekil 6.2 Çözüm algoritması

## 7. SONUÇ VE TARTIŞMALAR

### 7.1 Giriş

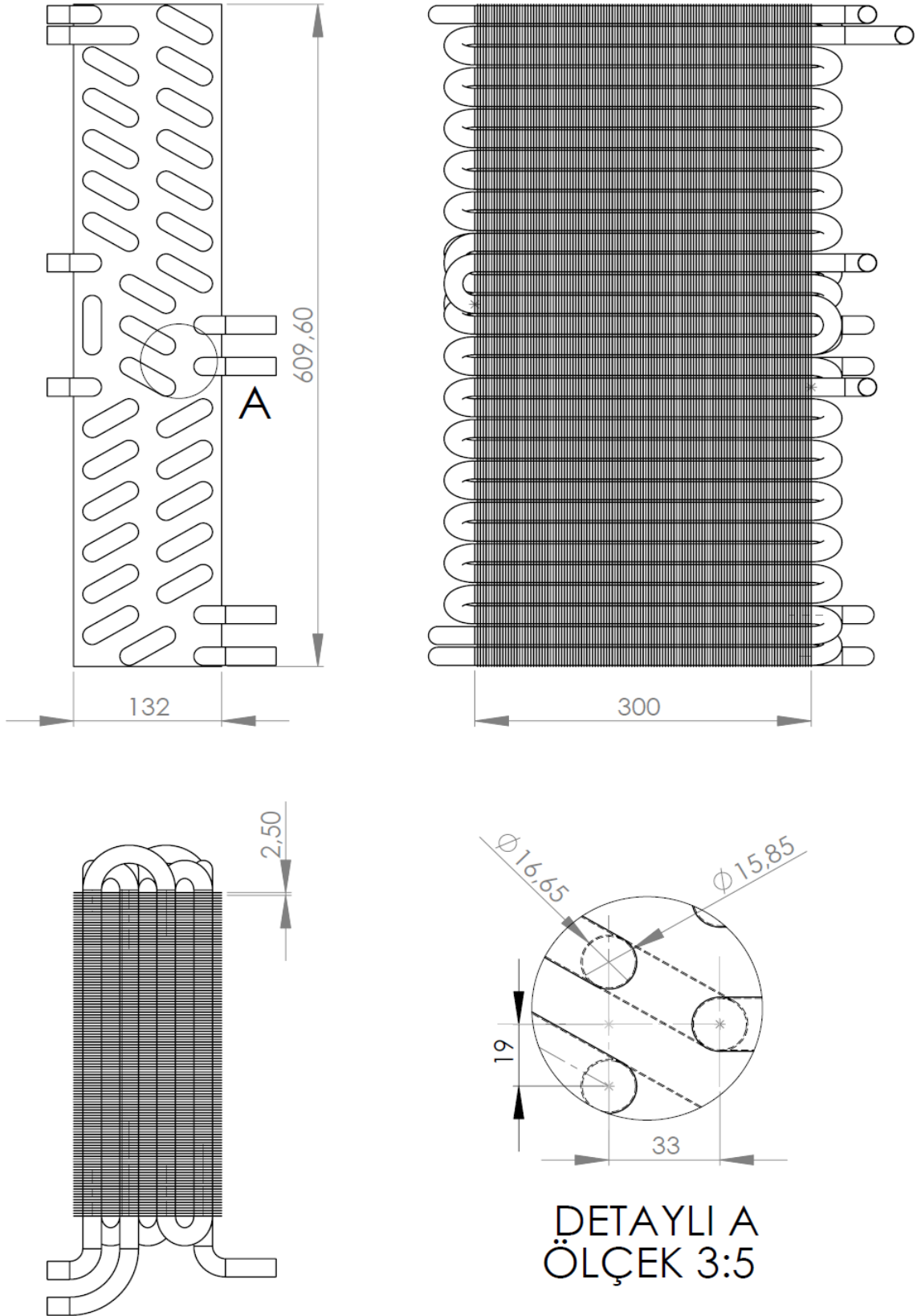
Bu bölümde farklı devre sayısına sahip soğutucu bataryalar için farklı soğuk su debilerine ait andırım modelleri incelenip sonuçlar gösterilmiştir. Tüm modeller MATLAB programlama dili kullanılarak programlanmıştır. Sonuçlar tablo ve grafiklerle gösterilmiştir.

### 7.2 Batarya Karakteristiği ve Parametreler

Bu bölümde tüm bataryaların ortak ve farklı fiziksel özellikleri ve akışkan bilgileri verilmiştir. Bataryalar Friterm firmasına ait 2, 4 ve 6 devreli, çapraz borulu soğutucu bataryalardır. Burada devre sayısından kastımız: Soğuk suyun dolaşacağı üst üste kıvrılmış olan boru kolonlarıdır ve her batarya için bir devre: Üst üste çapraz dizimli 16 borudan oluşmaktadır. 4 devreli batarya dediğimizde soğuk su debisi ana kolektörden 4 ayrı boruya dağılacak ve bataryanın  $\frac{1}{4}$ 'ünü dolaşarak çıkacaktır. Dolayısıyla 6 devreli bir bataryada toplam su debisi 6'ya ayrılacak ve her bir devre bataryanın  $\frac{1}{6}$ 'sını dolaşacaktır.

### 7.3 4 Devreli Bir Bataryaya Ait Uygulamalar

Tablo 7.1'de 4 devreli bir batarya için geometrik özellikler ve akışkanlara ait termofiziksel özellikler sunulmuştur. Burada tablonun 4 devreliye göre hazırlanması sadece devre sayısı itibariyledir. Bunun dışındaki bilgiler diğer bataryalar için de aynıdır. Şekil 7.1 4 devreli bir bataryaya ait teknik resmi göstermektedir. 1:10 ölçekli resim için boru iç ve dış çapları ile borular arası mesafeyi belirten detaylı görünüş de çizilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi sol görünüşe göre bataryanın sağ tarafından 4 adet soğuk su girişi olmakta ve bataryanın  $\frac{1}{4}$ 'ünü dolaşarak bataryayı 4 farklı çıkıştan terk etmektedir.



Şekil 7.1 4 Devreli batarya teknik resmi

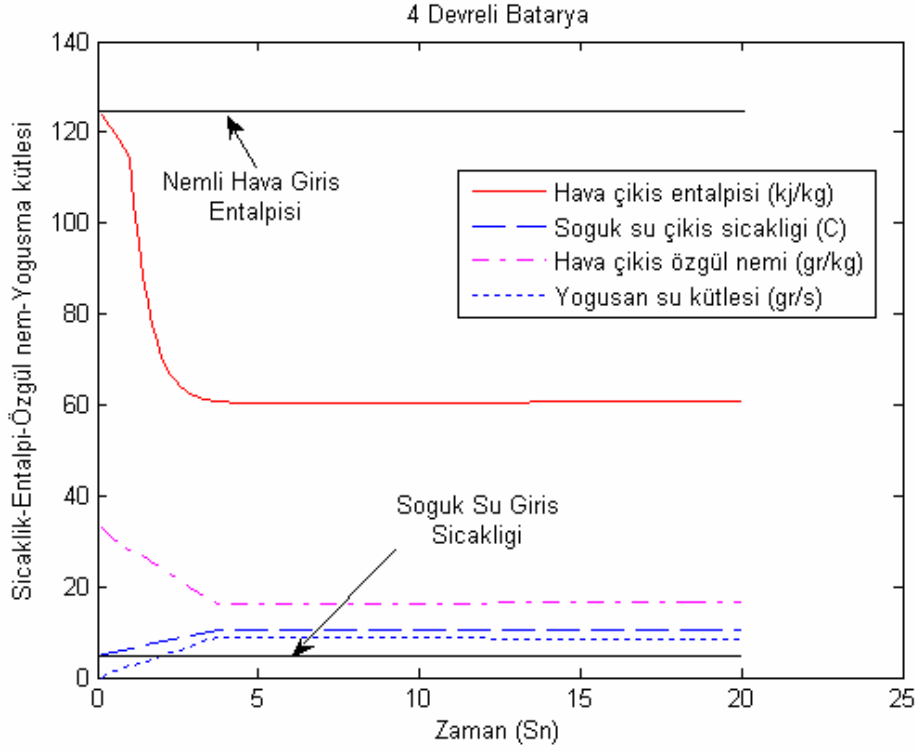
Çizelge 7.1 Temel parametreler

<b>a) Batarya Parametreleri</b>			
<b>Parametre</b>	<b>Sembol</b>	<b>Değer</b>	<b>Birim</b>
Boru iç çapı	$d_i$	15,85	mm
Boru dış çapı	$d_o$	16,65	mm
Batarya x-yönü uzunluğu	$L_x$	132	mm
Batarya y-yönü uzunluğu	$L_y$	609,6	mm
Batarya z-yönü uzunluğu	$L_z$	300	mm
Devre sayısı	$N_c$	4	adet
Sıra sayısı	$N_r$	4	adet
Bir sıradaki boru sayısı	$N_b$	16	adet
Kanat sıklığı	$n_k$	400	adet/m
Kanat kalınlığı	$\delta_k$	0,1	Mm
<b>b) Boru ve Kanat Parametreleri</b>			
Kanat özgül ısı	$c_k$	0,902	kJ/(kg.C)
Boru özgül ısı	$c_b$	0,38	kJ/(kg.C)
Kanat iletkenliği	$k_k$	177	W/m.K
Boru iletkenliği	$k_b$	400	W/m.K
Kanat yoğunluğu	$d_k$	2702	kg/m <sup>3</sup>
Boru yoğunluğu	$d_b$	8933	kg/m <sup>3</sup>
<b>c) Nemli Hava Parametreleri</b>			
Nemli hava özgül ısı (40°C %70 nem)	$c_h^0$	1,042	kJ/(kg.C)
Nemli hava debisi	$Q_h$	0.4572	m <sup>3</sup> /s
Nemli hava iletkenliği	$k_h$	0,02582	W/m.K
<b>d) Soğuk Su Parametreleri</b>			
Soğuk su kinematik viskozitesi	$\nu_s$	0,001385	Pa.s
Soğuk su özgül ısı	$c_s$	4,191	kJ/(kg.C)
Soğuk su yoğunluğu	$d_s$	998	kg/m <sup>3</sup>
<b>e) Diğer Parametreler</b>			
Yoğuşmuş su filmi kalınlığı	$d_y$	0,13	mm
Nemli hava başlangıç entalpisi	$e_h^0$	123,9	kJ/kg
Nemli hava başlangıç mutlak nemi	$W_h^0$	32,93	gr/kg
Soğuk su başlangıç sıcaklığı	$T_s^0$	5	C
Boru ve kanatlar başlangıç sıcaklığı	$T_b^0$	5	C

Çizelge 7.2 Batarya için program parametreleri

Nümerik Hesap Parametreleri			
Parametre	Sembol	Değer	Birim
Kontrol Hacmi x-yönü uzunluğu	$dx$	0.066	m
Kontrol Hacmi y-yönü uzunluğu	$dy$	0.01905	m
Kontrol Hacmi z-yönü uzunluğu	$dz$	0.01	m
Nümerik zaman aralığı	$dt$	5.80e-005	sn
Bir boru için dış ısı transferi yüzeyi	$A_b$	0.015065	$m^2$
Bir borudaki kanat alanı	$A_k$	0.24964	$m^2$
Bir boru için toplam ısı transfer yüzeyi	$A_o$	0.2647	$m^2$
Kontrol hacmi ısı transfer yüzeyi	$dA_o$	0.008824	$m^2$
Hava kütleli debisi	$G_h$	2.9435	$kg/m^2.s$
Boru içi termal direnç	$R_i$	0.54719	K/W
Boru dışı taşınım katsayısı	$h_{os}$	29.64	$W/m^2.K$

Çizelge 7.2'de programda kullanılan bazı önemli büyüklükler verilmiştir. Burada program esnasında belirli aralıklarla güncellenen parametrelerden boru dışı toplam taşınım katsayısı, nemli hava sabit basınç özgül ısı, doyma nemi ve doyma entalpisi v.b. parametreler verilmemiştir. Bu saydıklarımız sıcaklık ve özgül nem değerlerine bağlı olarak 50 zaman adımında bir güncellenecektir.

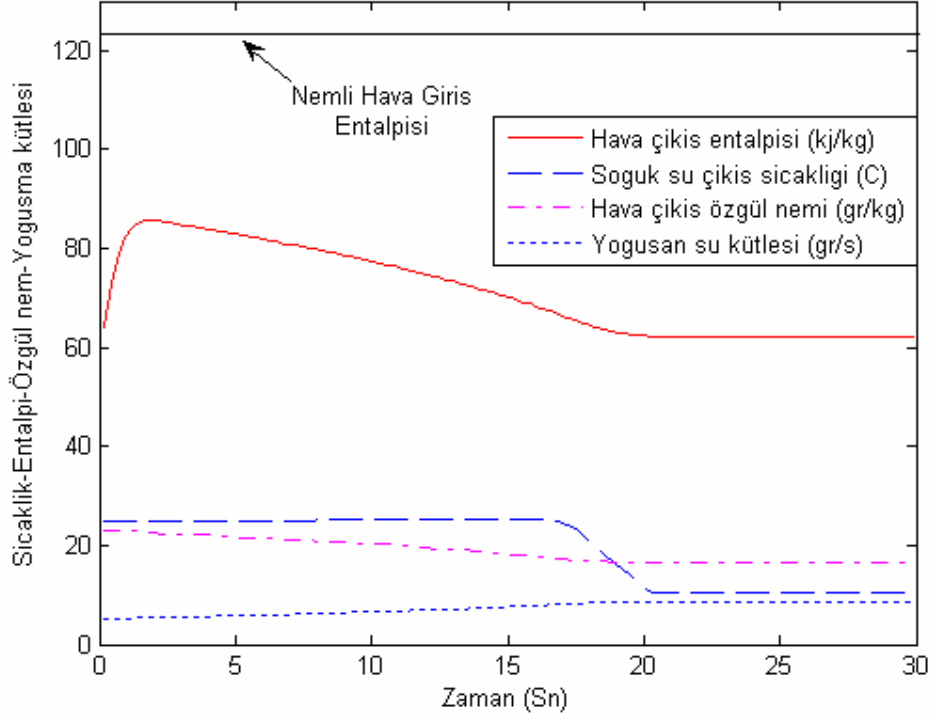


**Şekil 7.2 Başlangıç ve giriş şartlarının eşit alındığı andırım**

Yukarıdaki grafik 4 devreli bir bataryaya ait batarya çıkış değerlerini zamana bağlı göstermektedir. Eğriler çıkış havası entalpi ve nemi için  $32 \times 30 = 960$  adet kontrol hacminin ortalaması alınarak ve 4 adet soğuk su borusunun çıkışlarındaki soğuk su sıcaklıklarının ortalaması alınarak elde edilmiştir. Soğuk su debisi:  $5.70 \text{ m}^3/\text{h}$  olup ana kolektörden 4 kolona ayrılmaktadır. Soğuk suyun bataryaya giriş sıcaklığı :  $5^\circ\text{C}$ , havanın giriş entalpisi  $123.9 \text{ kJ/kg}$  ve bağıl nemi  $\%70$  olarak alınmış olup bu giriş değerleri aynı zamanda başlangıç değerleri olarak kabul edilmiştir. Batarya için cevap zamanı  $4.3$  saniye olup bu süre zarfında soğuk su sıcaklığı  $5^\circ\text{C}$ 'den  $10.44^\circ\text{C}$ 'e çıkmaktadır. Aynı süre zarfında soğuyan hava entalpisi  $123.9 \text{ kJ/kg}$ 'dan  $60.41 \text{ kJ/kg}$ 'a düşmekte ve yoğuşma sebebiyle çıkış havası mutlak nemi  $32.93 \text{ gr/kg}$ 'dan  $16.36 \text{ gr/kg}$ 'a düşmektedir. Sürekli rejim şartlarında birim zamanda yoğuşan su kütlesi ise  $8.592 \text{ gr/s}$  değerindedir.

Şimdi de başlangıç şartlarını giriş şartlarından farklı alarak programın aynı sürekli rejim değerlerine ulaşmasını inceleyeceğiz. Şekil 7.2'de soğuk su, borular ve hava sıcaklığının  $25^\circ\text{C}$

başlangıç şartları altındaki andırım eğrileri çizdirilmiştir.



**Şekil 7.3 Başlangıç ve giriş şartlarının farklı alındığı andırım**

Yukarıdaki grafiği inceleyecek olursak hava entalpisi ilk önce başlangıç entalpisi  $eh_0 = 60.63$ 'ten  $85.7$ 'ye kadar bir yükseliş göstermektedir. Bunun nedeni başlangıçta nemli hava, borular ve soğuk suyun  $25^\circ\text{C}$  sıcaklıkta olmaları ve hava sıcaklığının giriş havası entalpisi  $h_i=123.9$  etkisiyle ısınma eğiliminde olmasıdır. Ne zaman ki  $t=2.5$  saniyeye ulaşıldığında: - soğuk su hızı  $2 \text{ m/sn}$  ve toplam boru boyu bir devre için  $16 \times 0.3=4.8 \text{ m}$  olup  $5^\circ\text{C}$  derecede boruya giren soğuk suyun bataryayı terk etme süresi  $2.4$  saniyedir- nemli hava bu noktada bir geçiş entalpisine sahiptir. Bu noktadan sonra soğuk suyun havayı soğutma etkisi baskın hale gelmekte ve  $t=17$  saniyeye kadar havadan soğuk suya doğru olan ısı transferi havayı sürekli rejim entalpisine kadar soğutmaktadır. Aynı zamanda bu süre zarfında soğuk suyun havaya verdiği ısı, girişinde  $5^\circ\text{C}$  lik soğuk su ile alınan ısıdan çok az bir miktar fazla olduğundan soğuk su sıcaklığı  $t = 17$  saniyeye kadar  $25^\circ\text{C}$ 'den  $25.16^\circ\text{C}$ 'e kadar yükselmekte ardından sürekli rejim sıcaklığı  $10.44^\circ\text{C}$ 'e düşmektedir.

Sonuç olarak batarya başlangıç sıcaklıklarının giriş sıcaklığından farklı alınması durumunda yine aynı sürekli rejim değerlerine ulaşılmıştır fakat batarya cevap zamanı 4.3 saniyeden 20.7 saniyeye çıkmıştır.

#### 7.4 6 Devreli Bataryanın Farklı Soğuk Su Debilerindeki Davranışları

Bu bölümde de 6 devreye sahip soğutucu bataryanın farklı soğuk su debilerindeki performansı incelenecektir. Şekil 7.4'de bataryaya ait teknik resim verilmiştir. Buna göre soğuk su ana kolektörden 6 giriş borusuna ayrılıp bataryayı dolaşacaktır. 4 devreli bataryaya göre değişen parametreler Çizelge 7.3'de sunulmuştur. İlave 2 devre nedeniyle batarya genişliği  $L_x$ , 198 mm'ye çıkmıştır.

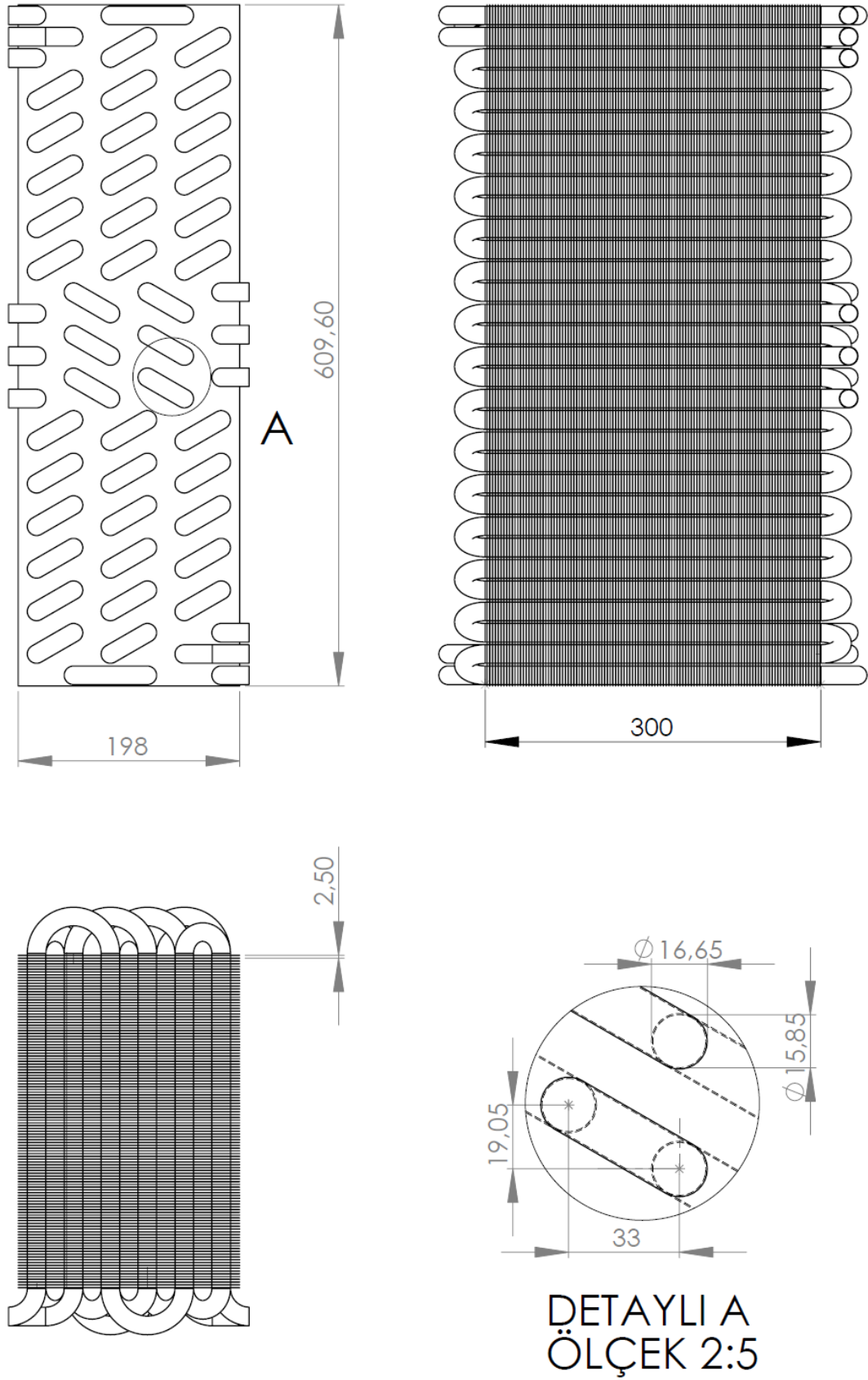
**Çizelge 7.3 6 Devreli batarya için değişen parametreler**

Değişen Batarya Parametreleri			
Parametre	Sembol	Değer	Birim
Batarya x-yönü uzunluğu	$L_x$	198	mm
Devre sayısı	$N_c$	6	adet
Sıra sayısı	$N_r$	6	adet

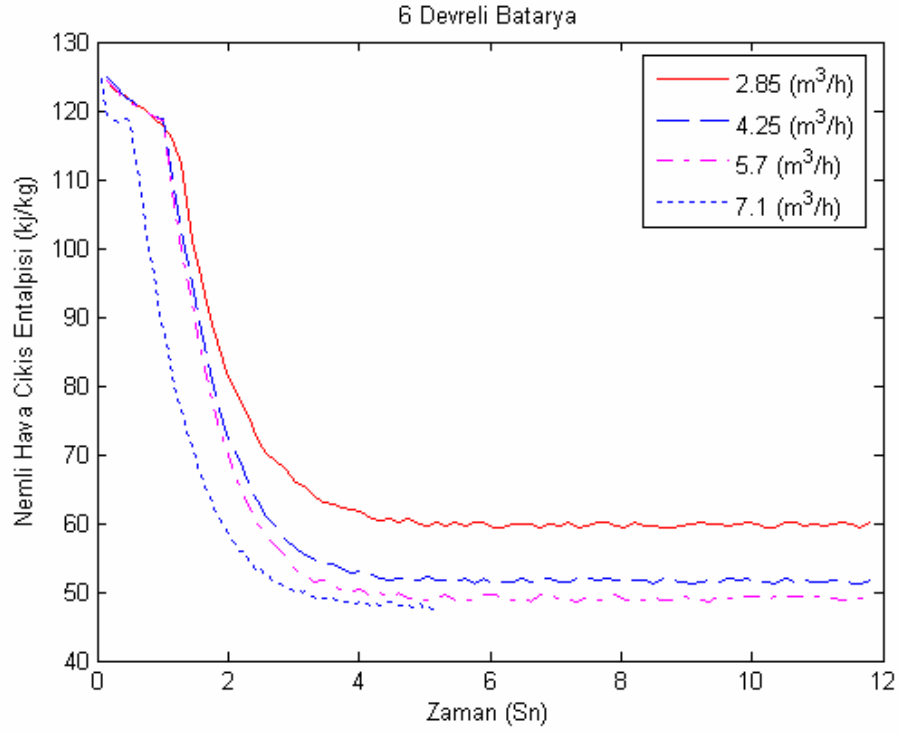
Programın farklı debiler için çalıştırılmasından sonra elde edilen sürekli rejim değerleri Çizelge 7.4'te verilmiştir. Soğuk su debisi arttıkça ortalama hava çıkış entalpisi 59,48 kJ/kg dan 47,6 kJ/kg değerlerine kadar düşmüştür.

**Çizelge 7.4 6 Devreli batarya için sürekli rejim değerleri**

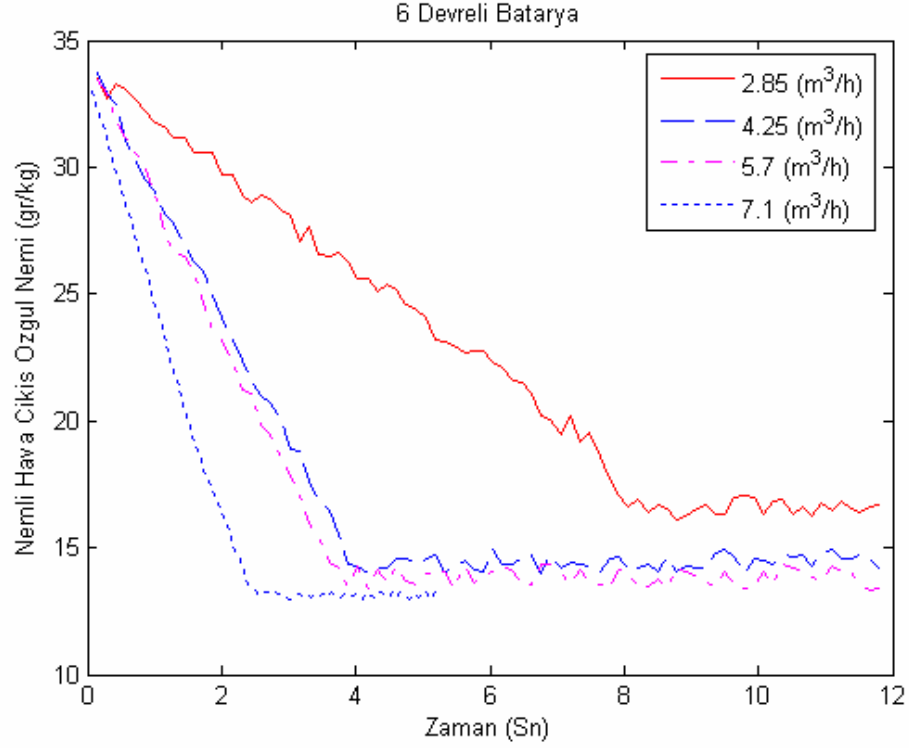
6 Devreli Batarya Sürekli Rejim Değerleri					
Soğuk Su Debisi	2,85	4,25	5,70	7,10	$m^3/h$
Hava Çıkış entalpisi	59,48	51,1	48,64	47,6	kJ/kg
Hava Çıkış Mutlak Nemi	16,04	13,99	13,32	12,99	gr/kg
Soğuk Su Çıkış Sıcaklığı	14,02	11,74	11,56	10,27	$^{\circ}C$



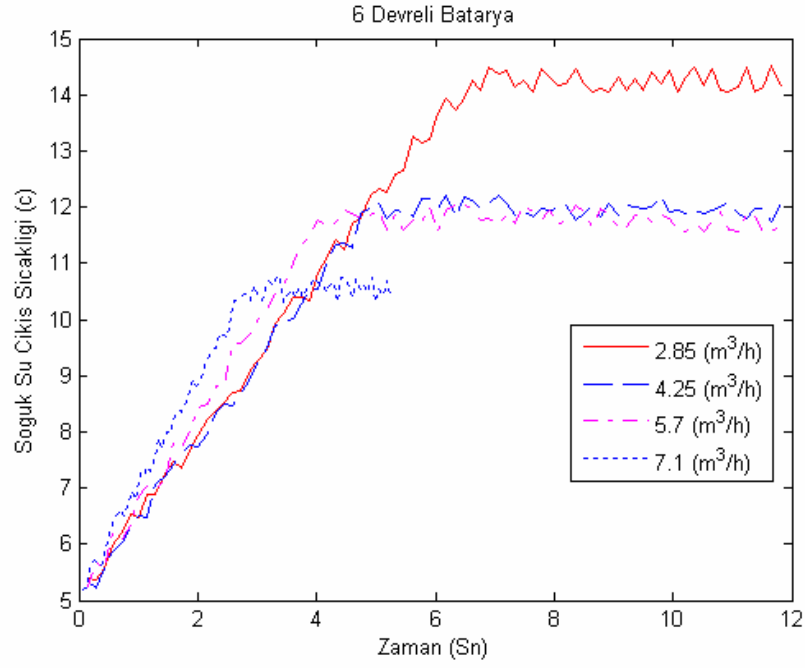
Şekil 7.4 6 Devreli batarya teknik resmi



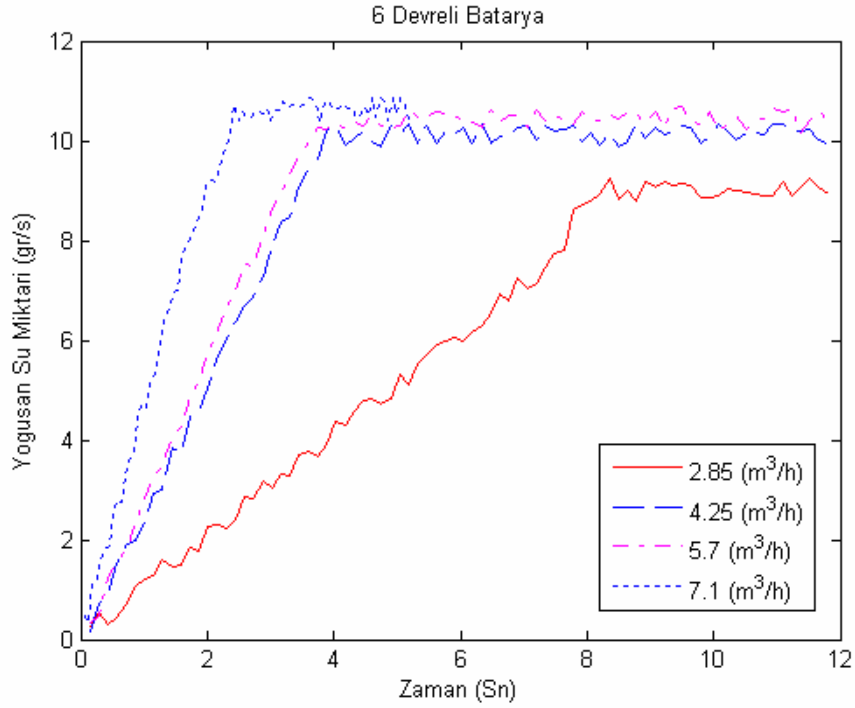
Şekil 7.5 6 Devreli Batarya için farklı soğuk su debilerindeki çıkış entalpileri



Şekil 7.6 6 Devreli Batarya için farklı soğuk su debilerindeki çıkış nem değerleri



**Şekil 7.7 6 Devreli Batarya için farklı soğuk su debilerindeki soğuk su çıkışı değerleri**



**Şekil 7.8 6 Devreli Batarya için farklı soğuk su debilerindeki yoğuşan su miktarı değerleri**

Soğuk su debisinin artması sonucu nemli hava entalpisindeki düşüşle beraber gözlenen bir başka durum da soğuk su çıkış sıcaklığının düşmesidir. Soğuk su çıkış sıcaklığının düşmesi ilk etapta sanki daha az ısı transferi olduğu gibi yanlış bir fikir verebilir. Halbu ki transfer olan ısı soğuk suyun giriş-çıkış sıcaklık farkıyla beraber kütle debisiyle de doğru orantılıdır. Kütle debisinin artması, sıcaklık farkının azalmasından daha fazla etkili olduğundan soğuk su havayı daha fazla soğutmuş ve sonuç olarak hava çıkış entalpi değerleri de düşmüştür.

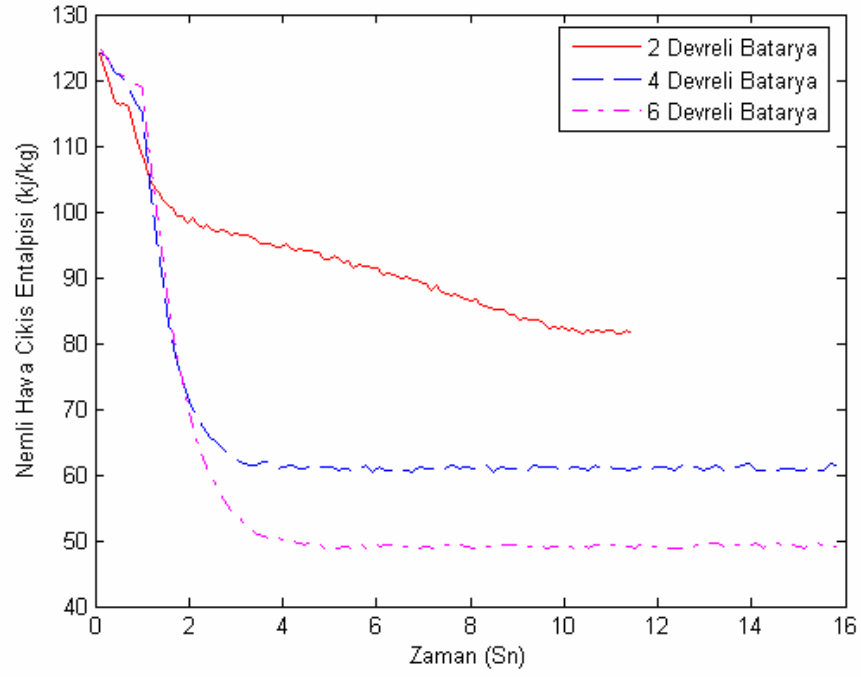
Ayrıca soğuk su debisi arttıkça bataryaların cevap süreleri de kısalmıştır. Çünkü soğuk su debisini arttırmak demek başta boru içi taşınım katsayısını arttırmak ve nemli havayı nispeten daha uzun süre soğuk yüzeye temas ettirmektir. Düşük soğuk su debilerinde soğuk su, çıkışına doğru daha fazla ısınmaktadır, debiyi arttırınca ise aksi söz konusudur.

### 7.5 Farklı Devre Sayılarına Sahip Bataryaların Sabit Soğuk Su Debisindeki Davranışı

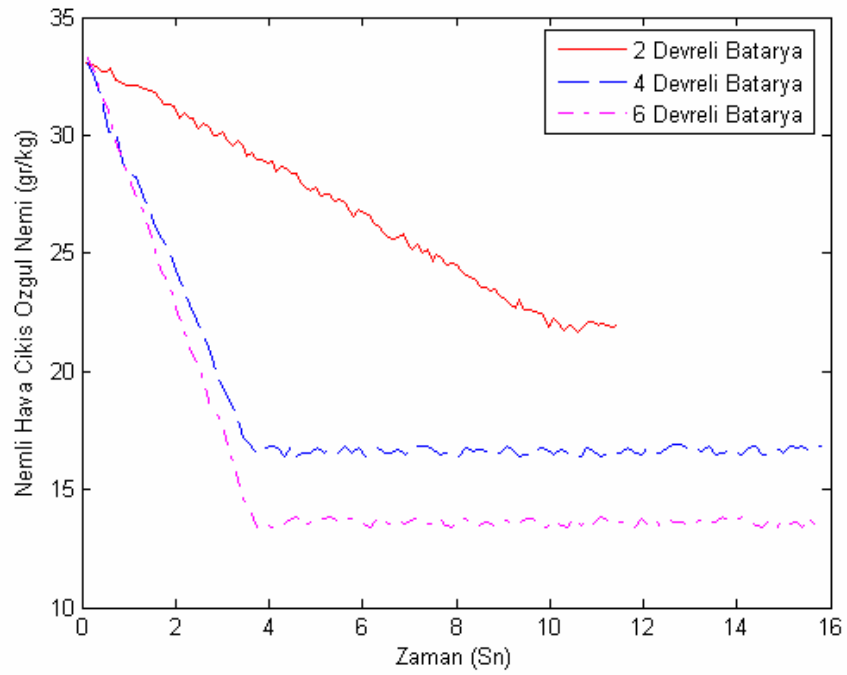
Bu bölümde de aynı soğuk su debisi gönderildiği durum için farklı devrelerdeki bataryaların davranışları incelenmiştir. Çizelge 7.5'te 2 devreli batarya için değişen parametreler gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 7.6'da daha önce gösterilmeyen 2 devreli bataryaya ait teknik resim verilmiştir.

**Çizelge 7.5 2 Devreli batarya için değişen parametreler**

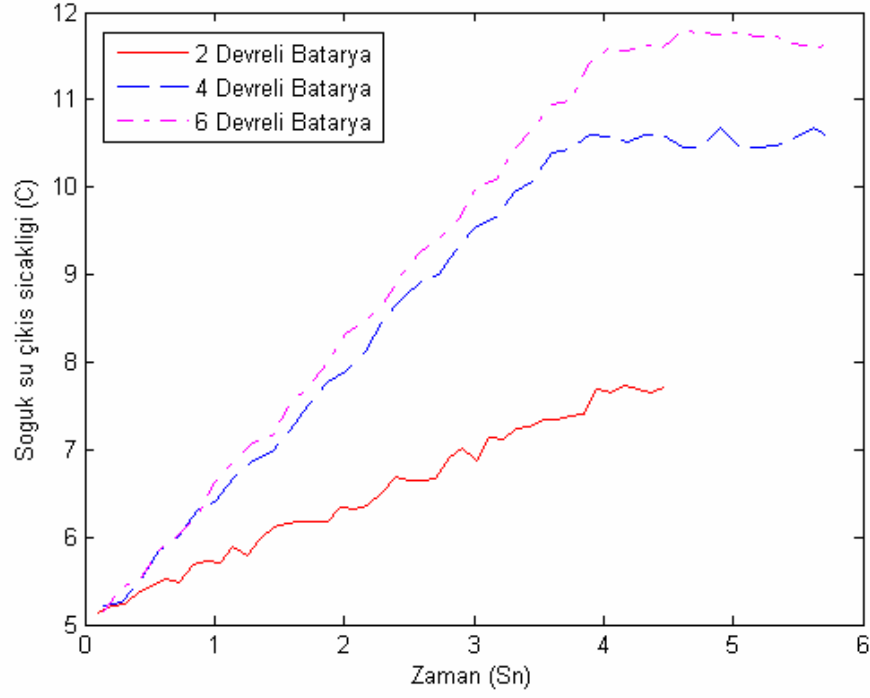
Değişen Batarya Parametreleri			
Parametre	Sembol	Değer	Birim
Batarya x-yönü uzunluğu	$L_x$	70	mm
Devre sayısı	$N_c$	2	adet
Sıra sayısı	$N_r$	2	adet



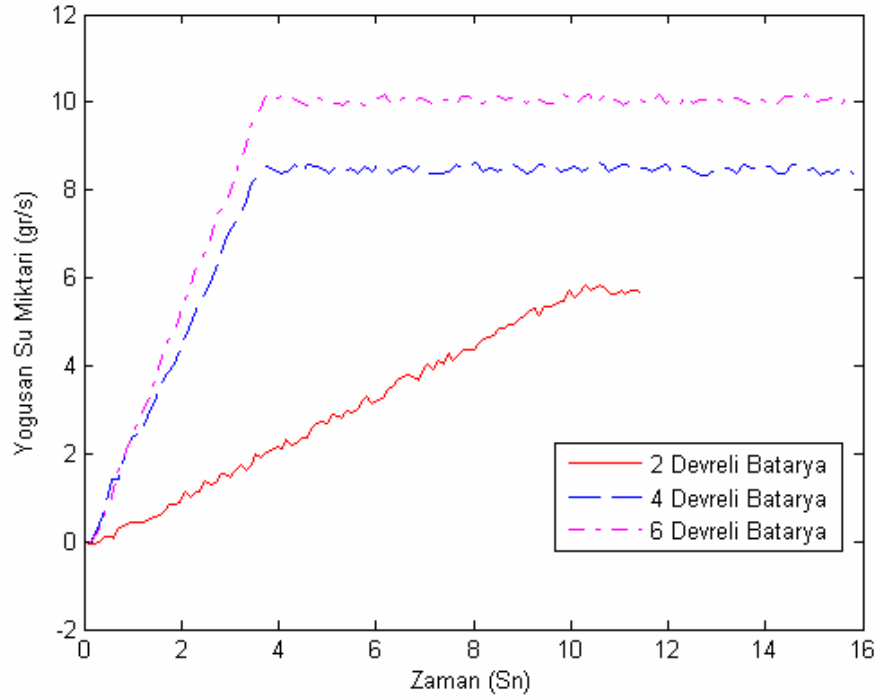
Şekil 7.9 Farklı devreli bataryalar için nemli hava çıkışı entalpi değerleri



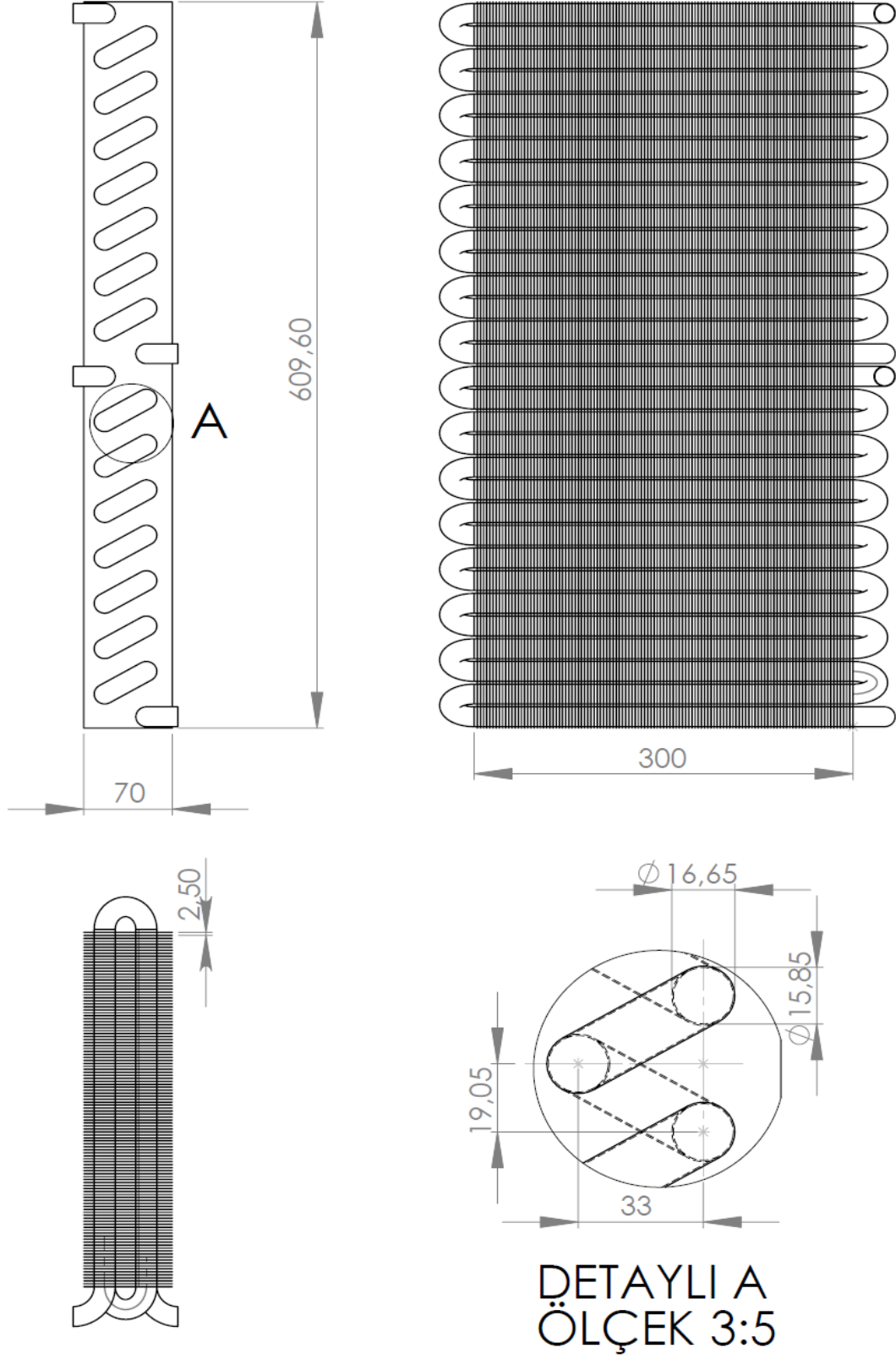
Şekil 7.10 Farklı devreli bataryalar için nemli hava çıkışı özgül nem değerleri



**Şekil 7.11 Farklı devreli bataryalar için soğuk su çıkış sıcaklığı değerleri**



**Şekil 7.12 Farklı devreli bataryalar için yoğuşma miktarı değerleri**



Şekil 7.13 2 Devreli batarya teknik resmi

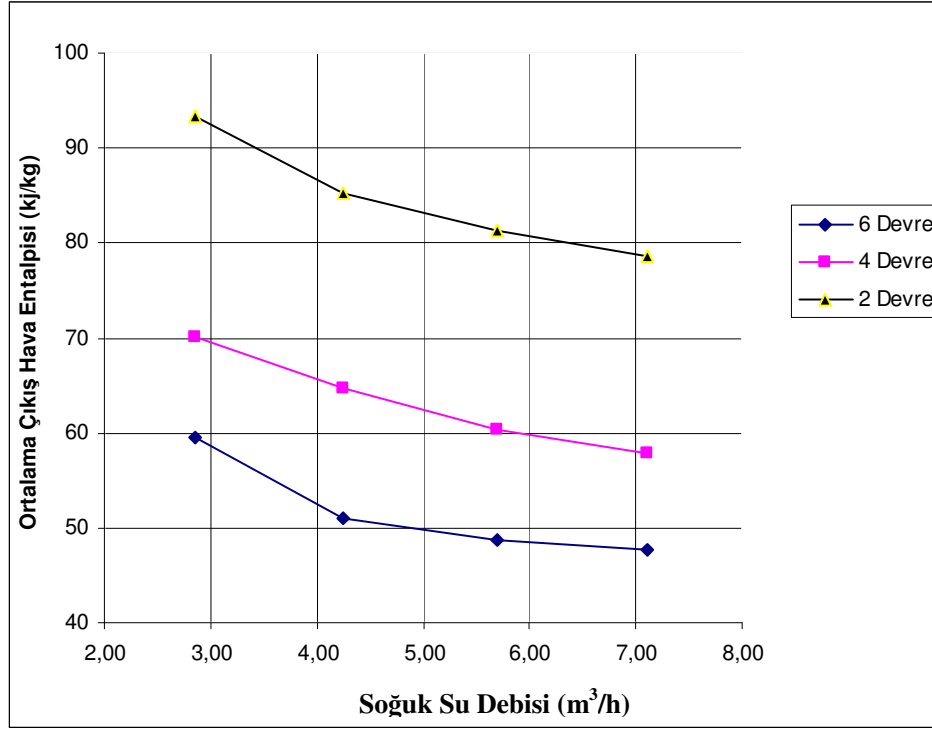
Burada tek soğuk su debisiyle farklı bataryaları andırım yapmakla ortaya çıkan sonuç: Devre sayısının artmasıyla nemli hava daha fazla soğuk yüzeye temas edecek fakat soğuk su hızı azalacağından boru içi taşınım katsayısı düşecektir ancak burada belirleyici olan boru dışı taşınım katsayısı olduğundan; bu iki faktörden ısı transferine etkisi daha fazla olanın devre sayısını arttırmak olduğu görülmüştür. Çünkü 5.70 m<sup>3</sup>/h debide yapılan andırımlarda 2 devreli bataryada nemli hava 81.3 kJ/kg entalpiye kadar düşerken, 4 devreli bataryada 60.41, 6 devreli bataryada ise 48.64 kJ/kg'a kadar düşmüştür. Bununla beraber devre sayısını arttırmak başlangıç maliyetini arttıracığından optimum bir yol izlenmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla ısı transferini arttırmak için öncelikle soğuk su debisini arttırmak ve yeterli olmazsa devre sayısı fazla olan bir bataryaya yönelmek gereklidir.

### 7.6 Farklı Devreli Bataryalar İçin Farklı Soğuk Su Debilerdeki Çıkış Değerleri

Bu bölümde de tüm bataryalar için farklı soğuk su debilerindeki çıkış değerleri toplu olarak verilip sonuçlar çıkarılmıştır. Çizelge 7.6 toplu halde sürekli rejim çıkış değerlerini vermektedir.

**Çizelge 7.6 Farklı bataryalara ait farklı soğuk su debilerindeki çıkış değerleri**

Soğuk Su Debisi	Çıkış Değerleri	6 devre	4 devre	2 devre
2,85 m <sup>3</sup> /h	Hava Çıkış Entalpisi (kJ/kg)	59,48	70,11	93,43
	Hava Çıkış Özgül Nemi (gr/kg)	16,04	18,88	24,92
	Soğuk Su Çıkış Sıcaklığı (°C)	14,02	12,54	11,12
4,25 m <sup>3</sup> /h	Hava Çıkış Entalpisi (kJ/kg)	51,1	64,77	85,26
	Hava Çıkış Özgül Nemi (gr/kg)	13,99	17,55	22,71
	Soğuk Su Çıkış Sıcaklığı (°C)	11,74	10,68	9,13
5,7 m <sup>3</sup> /h	Hava Çıkış Entalpisi (kJ/kg)	48,64	60,41	81,3
	Hava Çıkış Özgül Nemi (gr/kg)	13,32	16,36	21,64
	Soğuk Su Çıkış Sıcaklığı (°C)	11,56	10,44	8,52
7,1 m <sup>3</sup> /h	Hava Çıkış Entalpisi (kJ/kg)	47,6	57,91	78,56
	Hava Çıkış Özgül Nemi (gr/kg)	12,99	15,73	20,93
	Soğuk Su Çıkış Sıcaklığı (°C)	10,27	9,73	8,26



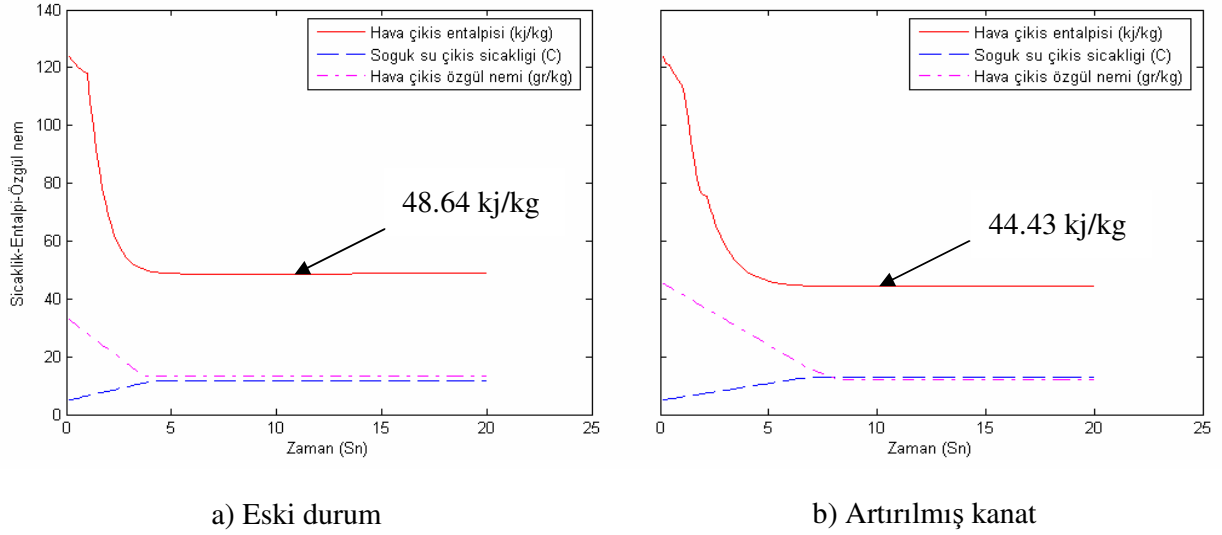
**Şekil 7.14 Farklı bataryalara ait farklı soğuk su debilerindeki performans eğrileri**

Grafiğe göre düşük soğuk su debilerinde 2 ile 4 devreli bataryalar arasındaki hava çıkış entalpileri farkı, 4 ile 6 devreli olanlar arasındakikinden yaklaşık 2 kat daha fazla olduğu görülüyor. Dolayısıyla devre sayısının 4'ten 6'ya artırılmasıyla iyi bir performans elde etmek için borular arası mesafenin artması yani kanat alanını büyümesi gerektiği ortaya çıkıyor.

#### **7.7 6 Devreli Bataryada Kanatların Büyütülmesiyle Performansın Arttırılması**

Şekil 7.8'de 6 devreli batarya performansını arttırmak için borular arası mesafenin büyütülmesi gerektiği ortaya çıkmıştı. Bunu elde etmek için hava akış yönünde borular arası mesafeyi 33 mm'den 50 mm'ye çıkardık ve programımızda gerekli düzenlemeleri yaptık.

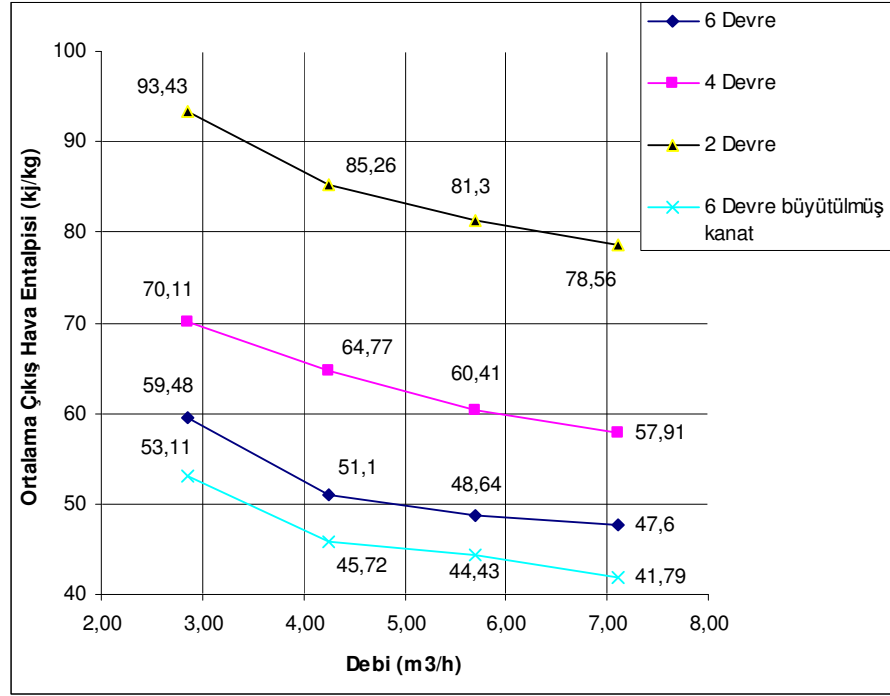
Kontrol hacmi dx boyutu 66 mm'den 100 mm'ye; eşdeğer kanat üst çapı 40 mm'den 50 mm'ye çıkmıştır. Kanat boyutlarının büyümesiyle kanat verimi 0.7 den 0.53'e kadar düşmüştür. Yeni durumdaki değerlerle elde edilen andırım eski durum ile karşılaştırılması Şekil 7.9'da gösterilmiştir.



**Şekil 7.15 6 Devreli bir bataryada borular arası mesafenin artırılması**

Yukarıdaki grafikte kanat alanının büyütülmesi ile ortalama hava çıkış entalpisinin 48.64 kJ/kg'dan 44.43 kJ/kg'a düştüğü görülmüştür. Bununla beraber hava çıkış özgül nem değeri 13.32 gr/kg'dan 12.27 gr/kg'a düşmüştür. Batarya cevap süresi ise 8.4 saniyeye kadar uzamıştır.

Yeni durumu da içeren çıkış havası değerleri Şekil 7.9'da verilmiştir. Borular arası mesafenin artırılması sonucu 2 devreli bataryadan 4 devreli bataryaya geçişteki performans artışını, 4 devreli bataryadan 6 devreli bataryaya geçerken de elde etmiş olduk.



**Şekil 7.16 6 Devreli bir bataryada borular arası mesafenin artırılmasıyla elde edilen sonuçlar**

### 7.8 Program Sonuçlarının Firma Katalog Bilgileriyle Karşılaştırılması

Bu bölümde programda elde edilen sürekli rejim değerlerinin, Friterm firmasının deneysel verilere göre hazırlanmış olduğu profesyonel yazılım sonuçlarıyla karşılaştırmaları yapılmıştır. Çizelge 7.7’de yapılan karşılaştırmaya göre program verileri firma katalog verileriyle büyük ölçüde yakınlık göstermektedir.

**Çizelge 7.7 Program ve firma verilerinin karşılaştırılması**

Soğuk Su Debisi	Çıkış Değerleri	6 devre			4 devre		
		Firma	Program	Fark	Firma	Program	Fark
2,85 m <sup>3</sup> /h	Ort.Hava Çıkış Entalpisi (kj/kg)	58,69	59,48	-0,79	68,82	70,11	-1,29
	Ort.Hava Çıkış Nemi (gr/kg)	15,15	16,04	-0,89	18,02	18,88	-0,86
	Ort.Soğuk Su Çıkış Sıcaklığı (°C)	14,94	14,02	0,92	13,39	12,54	0,85
4,25 m <sup>3</sup> /h	Ort.Hava Çıkış Entalpisi (kj/kg)	49,3	51,1	-1,80	64,22	64,77	-0,55
	Ort.Hava Çıkış Nemi (gr/kg)	12,62	13,99	-1,37	16,73	17,55	-0,82
	Ort.Soğuk Su Çıkış Sıcaklığı (°C)	12,61	11,74	0,87	11,09	10,68	0,41
5,7 m <sup>3</sup> /h	Ort.Hava Çıkış Entalpisi (kj/kg)	45,63	48,64	-3,01	60,28	60,41	-0,13
	Ort.Hava Çıkış Nemi (gr/kg)	11,65	13,32	-1,67	15,6	16,36	-0,76
	Ort.Soğuk Su Çıkış Sıcaklığı (°C)	10,96	11,56	-0,60	9,84	10,44	-0,60
7,1 m <sup>3</sup> /h	Ort.Hava Çıkış Entalpisi (kj/kg)	43,86	47,6	-3,74	57,41	57,91	-0,50
	Ort.Hava Çıkış Nemi (gr/kg)	11,18	12,99	-1,81	14,76	15,73	-0,97
	Ort.Soğuk Su Çıkış Sıcaklığı (°C)	9,89	10,27	-0,38	9,06	9,73	-0,67

**KAYNAKLAR**

- Bourdouxhe, J.P. and Lebrun, J., Reference Guide for Dynamic Models of HVAC Equipment, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 1996.
- Braun, J. E., Methodologies for the Design and Control of Chilled Water Systems, Ph. D. Thesis, University of Wisconsin - Madison, Madison Wisconsin, 1988.
- Deng, S.M., "A Dynamic Mathematical Model of A Direct Expansion (Dx) Water Cooled Air -Conditioning Plant", Building and Environment, C. 35, No. 7, s. 603-613, 2000.
- Halıcı,F.,Taymaz, İ., Gündüz, M.,"The effect of the number of tube rows on heat, mass and momentum transfer in flat-plate finned tube heat exchangers", Energy 26 (2001) 963-972
- Incropera, F.P. and DeWitt, D.P., Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 4th ed., John Wiley & Sons Inc., New York, 1996.
- MATLAB, Ver 7.0.0, The MathWorks Inc., Language of Technical Computing, Novi, MI, 2004.
- Jin,G.Y,Cai,W.J.,Wang, Y.W.,Yao, Y." A simple dynamic model of cooling coil unit", Energy Conversion and Management 47 (2006) 2659-2672
- Kuehn, T. H., Ramsey, J. W., and Therlkel, J. L., Thermal Environmental Engineering, 3rd ed., Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1998
- Lebrun, J., Simplified Modeling of Cooling Coils. IEA Annex 17 report. Belgium, University of Liege, 1990.
- Morisot, O., Marchio, D., and Stabat, P., "Simplified Model for Operation of Chilled Water Cooling Coils Under Nonnominal Conditions", HVAC & R Research, C. 8, No. 2, s. 135-158, 2002
- Özisik, M. N., Finite Difference Methods in Heat Transfer, CRC Press, Boca Raton, Los Angeles, 1994.
- Rosario,L and Rahman,M.M, "Analysis of heat transfer in a partially wet radial fin assembly during Dehumidification", International Journal of Heat and Fluid Flow 20 (1999) 642-648
- Stasiulevicius, J. and Skrinska, A., Heat Transfer of Finned Tube Bundles in Crossflow, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, 1987.
- Wang S.W., "Dynamic Simulation of a Building Central Chilling System and Evaluation of EMCS On-Line Control Strategies", Building and Environment, C. 33, No. 1, s. 1-20, 1998.
- Wang, Z.J. and Krauss, G., "Dynamic Models of Heating and Cooling Coils with One-Dimensional Air Distribution", Journal of Thermal Science, C. 2, No. 2, s. 126-134, Jun 1993.

- Wang, J. and Hihara, E. "Prediction of air coil performance under partially wet and totally wet cooling conditions using equivalent dry-bulb temperature method", *International Journal of Refrigeration* 26 (2002)
- Wang, C.C., Hsieh, Y.C., and Lin, Y.T., "Performance of Plate Finned Tube Heat Exchangers Under Dehumidifying Conditions", *Journal of Heat Transfer*, C. 119, No. 1, s. 109-117 1997.
- Wang C.C., Lin, Y.T., and Lee, C.J., "An Airside Correlation for Plain Fin-and-tube Heat Exchangers in Wet Conditions", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, C. 43, No. 10, s. 1869-1872, 2000.
- Vardhan, A., Dhar, P.L., "A New procedure for performance prediction of air conditioning coils", PII:S0140-7007(97)00020-0
- Yu, X., Wen, J., Smith, T.F., "A model for the dynamic response of a cooling coil", *Energy and Buildings* 37 (2005) 1278-1289

**EKLER****EK 1:****2 DEVRELİ BATARYA İÇİN SİMÜLASYON PROGRAMI**

clear,clc; % Workspace'de bulunan değişkenleri ve ekranı temizler

di=0.01585; % (m) boru iç çapı

do=0.01665; % (m) boru dış çapı ya da kanat dip çapı

Lx=0.132; % (m) havanın akış doğrultusunda batarya uzunluğu

Ly=0.609; % (m) batarya yüksekliği

Lz=0.3; % (m) soğuk suyun akışı doğrultusunda batarya uzunluğu

Nc=2; % debi 2 ye ayrılıyor

Nr=2; % yan yana bulunan iki sıra

Nz=30; % tek boru boyunca kontrol hacmi sayısı (Lz/dz) in yuvarlanmış hali

Nb=32; % boyuna kh hacmi sayısı 16x2

nk=400; % (adet/m) kanat sıklığı

Fp=1/nk; % (m) kanat hatvesi

Nk=nk\*Lz; % tek borudaki kanat adedi

delta=0.0001; % (m) kanat kalınlığı

duk=0.04002; % (m) eşdeğer dairesel kanatın üst çapı ( $\sqrt{4ac/\pi}$ )

%%%%%%%%%

ck=0.902; % kJ/(kg K) kanat özgül ısısı

cb=0.380; % kJ/(kg K) boru özgül ısısı

cs=4.191; % kJ/(kg K) soğuk su özgül ısısı (8 C ortalama sıcaklıkta)

ch=1.042; % kJ/(kg K) nemli hava başlangıç özgül ısısı (40C ve %80 bağıl nemdeki ortalama hava sıcaklığındaki)

kb=400; % W/(m K) boru iletkenlik değeri

ky=0.6; % W/(m K) su iletkenliği (20C de yoğunlaşmış suya ait )

ks=0.5635; % W/(m K) su iletkenliği (8 C ortalama soğuk su sıcaklığında)

kh=0.02582; % W/(m K) hava iletkenliği (28C %80 ortalama hava sıcaklığında)

rk=2702; %kg/m<sup>3</sup> kanat yoğunluğu

rb=8933; %kg/m<sup>3</sup> boru yoğunluğu

rh=1.137; %kg/m<sup>3</sup> hava yoğunluğu (28C %80 ortalama hava sıcaklığında)

rs=998; %kg/m<sup>3</sup> soğuk su yoğunluğu (8 C ortalama soğuk su sıcaklığında)

dcy=0.00013; % (m) kondens kalınlığı

nus=0.001385; % (Pa.s) 8 C ortalama soğuk su sıcaklığında soğuk su vizkozitesi

prs=10.3 % 8 C ortalama soğuk su sıcaklığında Pr sayısı

%% %% %% %% %% %% %% %% Kontrol Hacmi Boyutları %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%

dx=0.066; % (Lx/Nr)

dy=0.01905; % (=Ly/Nb)

dz=0.01;

dt=5.70e-005; % hesap zamanı aralığı

%% %%

Qh=0.4572; % (m<sup>3</sup>/s) toplam debi (bu değer 32x30 adet kontrol hacmine bölünecek)

%% %% %% Farklı soğuk su debilerinin m<sup>3</sup>/s cinsinden ekrana yazdırılması %% %% %% %% %% %% %%

disp('1.42 m<sup>3</sup>/h = 0.000394 m<sup>3</sup>/s')

disp('2.85 m<sup>3</sup>/h = 0.00079167 m<sup>3</sup>/s')

disp('4.25 m<sup>3</sup>/h = 0.0011805 m<sup>3</sup>/s')

disp('5.70 m<sup>3</sup>/h = 0.0015833 m<sup>3</sup>/s')

disp('7.10 m<sup>3</sup>/h = 0.0019722 m<sup>3</sup>/s')

Qs=input('toplam soğuk su debisini m<sup>3</sup>/s cinsinden girin Qs='); % m<sup>3</sup>/s cinsinden girilecek

%toplam debi

%% %%

$Ab = \pi \cdot do \cdot (Lz - Nk \cdot \delta)$ ; % (m<sup>2</sup>) sadece boruya ait dış ısı transfer alanı

$Ak = 2 \cdot Nk \cdot \pi \cdot (duk^2 - do^2) / 4$ ; % (m<sup>2</sup>) bir borudaki kanatların yüzey alanı

$Ao = Ab + Ak$ ; % (m<sup>2</sup>) bir borudaki toplam ısı transfer alanı

$Ai = \pi \cdot di \cdot di / 4$ ; %% %% (m<sup>2</sup>) boru içi kesit alanı

$dAo = Ao \cdot dz / Lz$ ; % (m<sup>2</sup>) kontrol hacmindeki bir borunun toplam ısı transfer alanı

$dVb = \pi \cdot (do^2 - di^2) \cdot dz / 4$ ; % (m<sup>3</sup>) kontrol hacmindeki sadece boruya ait hacim

$dVk = \pi \cdot (duk^2 - do^2) \cdot Nk \cdot \delta \cdot dz / (4 \cdot Lz)$ ; % (m<sup>3</sup>) kontrol hacmindeki sadece kanatlara ait %hacim

$dVs = Ai \cdot dz$ ; % (m<sup>3</sup>) kontrol hacmindeki soğuk suya ait hacim

$dVy = dAo \cdot dcy$ ; % (m<sup>3</sup>) kontrol hacmindeki yoğuşmuş suya ait hacim

$dV = dx \cdot dy \cdot dz$ ; % (m<sup>3</sup>) kontrol hacmi

$dV_{hislak} = dV - dVy - dVb - dVk - dVs$ ; %% (m<sup>3</sup>) kontrol hacmindeki nemli hava hacmi

%% %% %% %% %% %% %% %% Kontrol hacmi bileşenlerinin hacimsel oranları %% %% %% %% %% %% %% %%

$oh = dV_{hislak} / dV$ ;

$ob = dVb / dV$ ;

$ok = dVk / dV$ ;

$os = dVs / dV$ ;

%% Kontrol hacmi bileşenlerinin kütleleri %% %%

$M_{hislak} = rh \cdot oh$ ;

$Ms = rs \cdot os$ ;

$Mb = (rb \cdot ob \cdot cb) + (rk \cdot ok \cdot ck)$ ;

%% %%

$mh = Qh \cdot rh / (Nz \cdot Nb)$  % tek bir kontrol hacmi için hava kütleli debisi

$ms = Qs \cdot rs / Nc$ ; % tek bir kontrol hacmi için soğuk su kütleli debisi



3.82 3.9 3.98 4.08 4.16 4.24 4.34 4.44 4.54 4.64 4.74 4.84 4.96 5.08 5.16 5.32 5.42 5.54 5.68 5.8 5.96 6.1 6.2 6.2 6.6 6.6 6.8 7 7.2 7.4 7.6 7.8 7.8 8 8.2 8.58 8.62]; % yoğuşma %sıcaklıklarına tekabül eden entalpi katsayısı değerleri

esy=[14.81 15.74 16.69 17.66 18.64 19.64 20.65 21.67 22.72 23.78 24.86 25.95 27.07 28.2 29.36 30.53 31.73 32.94 34.18 35.44 36.73 38.04 39.37 40.73 42.12 43.52 44.97 46.43 47.92 49.45 51 52.6 54.22 55.87 57.56 59.28 61.03 62.83 64.66 66.53 68.44 70.39 72.38 74.42 76.5 78.62 80.79 83.01 85.28 87.6 89.97 92.39 94.87 97.41 99.99 102.65 105.36 108.13 110.97 113.87 116.85 119.6 122.7 125.8 129.1 132.4 135.8 139.3 142.8 146.5 150.2 154.1 158 162 166.1 170.39 174.7]; % yoğuşma sıcaklıklarına tekabül eden doyma entalpisi değerleri

%%başlangıç değerleri

w0=0.03293;% 40C %70 deki nem

Th0=40;% hava giriş sıcaklığına eşit alınan başlangıç sıcaklığı

eh0=123.9;% hava giriş entalpisine eşit alınan başlangıç entalpisi

Ts0=5;% su giriş sıcaklığına eşit alınan soğuk su başlangıç sıcaklığı

Tb0=5;% su giriş sıcaklığına eşit alınan boru yüzeyi başlangıç sıcaklığı

by0=byy(find(Ty==Th0));%Th0 C başlangıç sıcaklığı için by değeri

wsy0=wy(find(Ty==Th0));% Th0 C başlangıç sıcaklığı için doymuş nem değeri

esy0=esy(find(Ty==Th0));% Th0 C başlangıç sıcaklığı için doyma entalpisi değeri

cp0=cpm(w0); %w0 nemdeki nemli hava cp değeri (cpm alt program Ek 2 dedir)

how0=((cp0/(by0\*hos))+((dcy/ky))^-1)% toplam boru dışı başlangıç ısı transfer katsayısı

Rob0=(how0\*etatomlam\*dAo)^-1; % Boru dışı başlangıç taşınım direnci

Ri=(1/(hi\*Pi\*dz))+((log(do/di))/(2\*pi\*kb\*dz)); % Boru içi taşınım direnci (bu sabit kalıyor)

%%ilk değer katsayıları %%%%

Hw0=(Gh\*dV/dx)+(etam\*hos\*dAo/cp0)

Hh0=(Mhislak/dt)-(Gh/dx)-(1/(by0\*Rob0\*dV))

Hb=Mb/dt-1/(Ri\*dV)

Hs=(Ms\*cs)/dt-(Gs\*cs)/dz-1/(Ri\*dV)

%%Seçilen kontrol hacmi boyutlarını kararlılık analizi %%%%

```
sprintf('dt= %f',dt)
```

```
dt=(rh*by0*Rob0*dVhislak)/(1+rh*by0*Rob0*Qh/(Nz*Nb))%dt bundan küçük olmalı hava  
kh sayısı
```

```
disp('dt < dt küçük olmalı')
```

```
%%su için kararlılık
```

```
dttsu=(Qs/2*rs*cs*dz*dt*Ri)/(rs*cs*dVs*Ri-dt)%dz bundan büyük olmalı
```

```
sprintf('dz= %f',dz)
```

```
disp('dz > dttsu olmalı')
```

```
disp('stabiliteler 0-1 arasında olmalı')
```

```
stabilitehava=(Gh*dt)/(dx/Mhislak)+(1/(by0*Rob0*dV))*(dt/Mhislak)%%bu değer 0-1  
%%arasında olmalıra*by*Rob
```

```
stabiliteboru=((1/(Ri*dV))+1/(Rob*dV))*dt/Mb%bu değer 0-1 arasında olmal  
erfboru=(1/(Ri*dV)+1/(Rob*dV))*dt/Mb
```

```
tt=10; %% hesaplanacak matrisel değerlerin zaman boyutu
```

```
%%% hesaplanacak matrislerin başlangıç değerlerinin atanarak oluşturulması
```

```
eh=zeros(32,4,30,tt)+eh0;
```

```
Ts=zeros(32,4,30,tt)+Ts0;
```

```
Tb=zeros(32,3,30,tt)+Tb0;
```

```
w=zeros(32,4,30,tt)+w0
```

```
%%% katsayı matrislerinin başlangıç değerlerinin atanarak oluşturulması
```

```
wsy=zeros(32,30)+wsy0;%T0sıcaklığında doymuş nem miktarı
```

```
esb=zeros(32,30)+esy0;%T0sıcaklığında doyma entalpisi
```

```
by=zeros(32,30)+by0;
```

```
how=zeros(32,30)+how0;
```

```
Rob=zeros(32,30)+Rob0;
```

```
Hh=zeros(32,30)+Hh0;
```

```
cp=zeros(32,30)+cp0;
```

```
Hw=zeros(32,30)+Hw0;
```

```
sure=input('toplam simulasyon zamanını sn cinsinden girin sure=');%istenen andırım
%süresinin klavyeden girilmesi
```

```
ttt=round(sure/(dt*10)); %toplam hesap zamanı adedini hesaplanması
```

```
ttt %%bekleme süresi hakkında bilgi vermesi için hesap zaman adedinin gösterilmesi
```

```
pause(3)%% yukarıdaki değerin ekranda 3 saniye gösterilmesi
```

```
for q=1:ttt % dış döngünün başlangıcı
```

```
for t=1:tt % iç döngünün başlangıcı
```

```
    sprintf('zaman=%d',q) %%zaman sayacı
```

```
    %%50 zaman adımında 1 katsayıları yenileyelim
```

```
    if mod(t,10)==0 && mod(q,5)==0
```

```
        j=1;
```

```
            for i=1:32; % batarya yukarisından aşağıya doğru artan indis
```

```
                for k=1:30 ;%boru boyunca artan indis
```

```
                    %%katsayıları bir önceki zamana ait boru yüzeyindeki yoğunlaşmış
```

```
                    % su sıcaklığına göre güncelliyoruz (esb,wsy,by,how,Rob,Hh,cpm) Tyy=Tb+0.17(Yu
                    %yaklaşımı) yüzeydeki yoğunlaşmış su, boru sıcaklığından 0.17 C daha sıcak kabul edildi
```

```
Tyy(i,j,k,t)=Tb(i,j,k,t)+0.17;
```

```
            if abs(round(Tyy(i,j,k,t))-Tyy(i,j,k,t))>0.25 && Tyy(i,j,k,t)>round(Tyy(i,j,k,t))
            %sıcaklık ile yuvarlanmış halleri farkı buçuklu değere yakınsa ve sıcaklık buçuklu değerden
            %küçükse yoğunlaşma sıcaklığı indisi aşağıdaki gibi bulunacak
```

```
                tempb=((round(Tb(i,j,k,t)+0.17)-3)/0.5)+2;
```

```
            elseif abs(round(Tyy(i,j,k,t))-Tyy(i,j,k,t))>0.25 && (Tyy(i,j,k,t)<round(Tyy(i,j,k,t)))
```

```
            %sıcaklık ile yuvarlanmış halleri farkı buçuklu değere yakınsa ve sıcaklık buçuklu değerden
            %büyükse
```

```
                tempb=((round(Tyy(i,j,k,t))-3)/0.5);
```

```
            else
```

```
                tempb=((round(Tyy(i,j,k,t))-3)/0.5)+1; %ilk iki şartın gayrı(sıcaklık tam
                %değere yakın
```

%% aşağıdaki katsayılar bir sonraki 50 adım için kullanılacak

```

    esb(i,k)=esy(tempb);
    wsy(i,k)=wy(tempb);
    by(i,k)=byy(tempb);
    cp(i,k)=cpm(w(i,j+1,k,t));
    how(i,k)=((cp(i,k)/(by(i,k)*hos))+((dcy/ky))^-1;
    Rob(i,k)=(how(i,k)*etatoplam*dAo)^-1;
    Hh(i,k)=(Mhislak/dt)-(Gh/dx)-(1/(by(i,k)*Rob(i,k)*dV));
    Hw(i,k)=(Gh*dV/dx)+(etam*hos*dAo/cp(i,k));
    end
  end
end
end
end

```

%% su ve borularla başlıyoruz 1. devre

Ts(32,2,1,t)=5; % 1. devreye soğuk suyun giriş şartı

k=1;

j=1;

for i=32:-1:17

if mod(i,2)=0 %%çift sıra nolu borular 32,30,28,26...

for k=1:30

if k=1 && i=32 %%kolona giriş sınır şartı

$$Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j+1,k,t))+$$

$$(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));$$

$$Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+$$

$$(eh(i,j,k,t)-esb(i,k))/(by(i,k)*Rob(i,k)*dV));$$

elseif k=1 %%bir alt borulardan geliş sınır şartı

$$Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+$$

$$(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));$$

$$Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+$$

```

        (eh(i,j,k,t)-esb(i,k))/(by(i,k)*Rob(i,k)*dV));
else   %%%sınır durumlar hariç boru boyunca değerler
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*
        Ts(i,j,k-1,t))+Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
        (eh(i,j,k,t)-esb(i,k))/(by(i,k)*Rob(i,k)*dV));
    end
end
else   %%tek sıra nolu borular 31,29,27,25...bunlarda sadece alt borudan geliş sınır şartı
%var
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
        (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV))); %%bir üst sıraya başlangıç şartları
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
        (eh(i,j,k,t)-esb(i,k))/(by(i,k)*Rob(i,k)*dV));%
for k=29:-1:1 %%k=30 daki hücre hemen üstteki iki satırda hesaplandı
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+
        (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
        (eh(i,j,k,t)-esb(i,k))/(by(i,k)*Rob(i,k)*dV));
    end
end
end
%%su ve borular için 2. devre
        Ts(16,2,1,t)=5; % 2.devreye soğuk su girişi sınır şartı

for i=16:-1:1
    if mod(i,2)==0 %%çift sıra nolu borular 16,14...
        for k=1:30
            if k==1 && i==16 %%kolona giriş sınır şartı
                Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j+1,k,t))+
                (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
            end
        end
    end
end

```

```

Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
    (eh(i,j,k,t)-esb(i,k))/(by(i,k)*Rob(i,k)*dV));
elseif k==1 %%%bir alt borulardan geliş sınır şartı
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
        (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
        (eh(i,j,k,t)-esb(i,k))/(by(i,k)*Rob(i,k)*dV));
else %%%sınır durumlar hariç boru boyunca değerler
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*
        Ts(i,j,k-1,t))+Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV));
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
        (eh(i,j,k,t)-esb(i,k))/(by(i,k)*Rob(i,k)*dV));
end
end
else %%%tek sıra nolu borular 15,13,11...bunlarda sadece alt borudan geliş sınır şartı var
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
        (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV))); %%%bir ust sıraya başlangıç şartları
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
        (eh(i,j,k,t)-esb(i,k))/(by(i,k)*Rob(i,k)*dV));%
for k=29:-1:1
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+
        (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
        (eh(i,j,k,t)-esb(i,k))/(by(i,k)*Rob(i,k)*dV));
end
end
end

%%şimdi havayı hesaplasın

for i=1:32;

```

```

for k=1:30;
    eh(i,2,k,t)=123.9;%%hava giriş entalpisi(40 C ve %70) -sınır şartı-
    w(i,2,k,t)=0.03293; %40 C ve %70 nemli hava mutlak nemi

w(i,j,k,t+1)=(1/Hw(i,k))*((Gh*dV/dx)*w(i,j+1,k,t)+(etam*hos*dAo*wsy(i,k)/cp(i,k)));
    eh(i,j,k,t+1)=(dt/Mhislak)*(Hh(i,k)*eh(i,j,k,t)+((Gh/dx)*eh(i,j+1,k,t))+
        (esb(i,k)/(by(i,k)*Rob(i,k)*dV)));

    end

end

end

end

%%%% Grafik çizdirme vektörlerine değerlerin atanması %%%
zaman(q)=dt*q*t;
th(q)=mean(mean(eh(:,1,:),t));%% çıkış ortalama hava entalpisinin hesaplanması
%% Soğuk su devrelerinden çıkış sıcaklıklarının alınması
ts1(q)=Ts(17,1,1,t);
ts2(q)=Ts(1,1,1,t);

tso(q)=(ts1(q)+ts2(q))/2; %%% ortalama soğuk su çıkış sıcaklığı
ww(q)=mean(mean(w(:,1,:),t))*1000;%% çıkış havası ortalama nem değeri hesaplanması
myogusma(q)=Qh*rh*(w0*1000-ww(q)); %giriş-çıkış nem farkından yoğuşma
    % kütesinin bulunması

%% 10 zaman adımlık iç döngü son değerlerinin dış döngünün ilk değerlerine eşitlenmesi
j=1;
for i=1:32
    for k=1:30
        eh(i,j,k,1)=eh(i,j,k,t+1);
    end
end

```

```

w(i,j,k,1)=w(i,j,k,t+1);
Ts(i,j,k,1)=Ts(i,j,k,t+1);
Tb(i,j,k,1)=Tb(i,j,k,t+1);

```

```
end
```

```
end
```

```
end
```

```
guc=Nz*Nb*Gh*dy*dz*(eh(i,2,k,t)-th(q)) % batarya kapasitesinin hesaplanması
```

```
figure;
```

```
plot(zaman,th,'r',zaman,tso,'b--',zaman,ww,'m-.',zaman,myogusma, ':')
```

```
%entalpi,özgül nem, soğuk su çıkış ve yoğuşma miktarının zamana bağlı çizdirilmesi
```

```
legend('Hava çıkis entalpisi (kJ/kg)','Soguk su çıkis sicakligi (C)','Hava çıkis özgül nemi (gr/kg)','Yogusan su kütlesi (gr/s)');
```

```
xlabel('Zaman (Sn)'),ylabel('Sicaklik-Entalpi-Özgül nem-Yogusma kütlesi');
```

**EK 2:****4 DEVRELİ BATARYA İÇİN SİMÜLASYON PROGRAMI**

```
clear,clc;
```

```
di=0.01585; %m
```

```
do=0.01665; %m boru dış çapı ya da kanat dip çapı
```

```
dia=0.02145; %m havanın çarpaz akıştaki borular arası mesafesi(transversal ve longitudinal  
%değil)
```

```
Lx=0.132; %m havanın akış doğrultusunda
```

```
Ly=0.609; %m yükseklik
```

```
Lz=0.3; %m suyun akış doğrultusunda
```

```
Nc=4; % debi 4 e ayrılıyor
```

```
Nr=2; % YAN yana 2 sıra var fakat 4 boru var
```

```
Nz=30; % tek boru boyunca kh sayısı Lz/dz in yuvarlanmış hali
```

```
Nb=32; % boyuna kh hacmi sayısı 16x2
```

```
nk=400; %adet/m
```

```
Fp=1/nk; %kanat hatvesi
```

```
Nk=nk*Lz; % tek borudaki kanat adedi
```

```
delta=0.0001; %m kanat kalınlığı
```

```
duk=0.04002; %m%%eşdeğer dairesel kanatın üst çapı
```

```
ck=0.902; %kJ/(kg K)
```

```
cb=0.380; %kJ/(kg K)
```

```
cs=4.191; %kJ/(kg K) 8 C ortalama soğuk su sıcaklığında
```

```
ch=1.042; %kJ/(kg K) 40C %80 ortalama hava giriş sıcaklığındaki
```

```
kb=400; % W/(m K) boru kısı
```

```
ky=0.6; %w/mk 20C de yoğuşmuş suya ait k
```

```
ks=0.5635; %W/(m K)8 C ortalama soğuk su sıcaklığında
```

```
kh=0.02582; %(40+16)/2=28C %80 ortalama hava sıcaklığındaki
```

rk=2702; %kg/m3 kanatın yoğunluğu

rb=8933; %kg/m3 boru yoğunluğu

rh=1.137; %kg/m3 hava yoğunluğu (40+16)/2=28C %80 ortalama hava sıcaklığındaki %yoğunluk

rs=998; %kg/m3 8 C ortalama soğuk su sıcaklığında

dcy=0.00013; %m kondens kalınlığı

nus=0.001385; %Pa.s 8 C ortalama soğuk su sıcaklığında soğuk su vizkozitesi

prs=10.3 % 8 C ortalama soğuk su sıcaklığında

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

dx=0.066; % (Lx/Nr)

dy=0.01905; % (=Ly/Nc)

dz=0.01; %

dt=5.80e-005;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

Qh=0.4572; % (m3/s) toplam debi bu da 32x30 kh ne bölünecek

disp('1.42 m3/h = 0.000394 m3/s')

disp('2.85 m3/h = 0.00079167 m3/s')

disp('4.25 m3/h = 0.0011805 m3/s')

disp('5.70 m3/h = 0.0015833 m3/s')

disp('7.10 m3/h = 0.0019722 m3/s')

Qs=input('toplam soğuk su debisini m3/s cinsinden girin Qs='); % (m3/s) toplam debi bu değer %4 boruya bölünecek

Nz=30; % (=Lz/dz)

Ab=pi\*do\*(Lz-Nk\*delta); % (pi\*do\*(Lz - Nk\*delta)) bir boru dış alanı

Ak=2\*Nk\*pi\*(duk^2-do^2)/4; % 2Nepi(de2-do2)/4 bir borudaki kanatlar yüzey alanı

Ao=Ab+Ak; % (At + Ae)

dAo=Ao\*dz/Lz; % Ao dz/Lz.

dVb=pi\*(do^2-di^2)\*dz/4; % pi(do2-di2)dz/4

dVk=pi\*(duk^2-do^2)\*Nk\*delta\*dz/(4\*Lz); % pi(de2-do2)Nk?edz/4Lz

Ai=pi\*di\*di/4; %%% boru içi kesit alanı



$vsu=ms/(rs \cdot Ai);$

$Reynoldsu=vsu \cdot di \cdot rs/nus;$

%%%%%%%%

%%%%%%%%

Ty=[3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15 15.5 16 16.5 17 17.5 18 18.5 19 19.5 20 20.5 21 21.5 22 22.5 23 23.5 24 24.5 25 25.5 26 26.5 27 27.5 28 28.5 29 29.5 30 30.5 31 31.5 32 32.5 33 33.5 34 34.5 35 35.5 36 36.5 37 37.5 38 38.5 39 39.5 40 40.5];

wy=[0.004706 0.004877 0.005053 0.005235 0.005423 0.005617 0.005817 0.006023 0.006236 0.006455 0.006682 0.006915 0.007156 0.007404 0.00766 0.007924 0.008196 0.008476 0.008765 0.009062 0.009369 0.009684 0.01 0.010345 0.01069 0.011045 0.011411 0.011788 0.012176 0.012576 0.012987 0.01341 0.013846 0.014294 0.014755 0.01523 0.015719 0.016221 0.016738 0.01727 0.017817 0.01838 0.018959 0.019554 0.020167 0.020796 0.021444 0.022109 0.022794 0.023498 0.024222 0.024965 0.02573 0.026516 0.027324 0.028155 0.029008 0.029886 0.030788 0.031715 0.032667 0.03349 0.0345 0.03552 0.03658 0.03767 0.03878 0.03993 0.0411 0.04231 0.04356 0.04484 0.04615 0.0475 0.04888 0.05031 0.05177];

byy=[1.86 1.9 1.94 1.96 2 2.02 2.04 2.1 2.12 2.16 2.18 2.24 2.26 2.32 2.34 2.4 2.42 2.48 2.52 2.58 2.62 2.66 2.72 2.78 2.8 2.9 2.92 2.98 3.06 3.1 3.2 3.24 3.3 3.38 3.44 3.5 3.6 3.66 3.74 3.82 3.9 3.98 4.08 4.16 4.24 4.34 4.44 4.54 4.64 4.74 4.84 4.96 5.08 5.16 5.32 5.42 5.54 5.68 5.8 5.96 6.1 6.2 6.2 6.6 6.6 6.8 7 7.2 7.4 7.6 7.8 7.8 8 8.2 8.58 8.62];

esy=[14.81 15.74 16.69 17.66 18.64 19.64 20.65 21.67 22.72 23.78 24.86 25.95 27.07 28.2 29.36 30.53 31.73 32.94 34.18 35.44 36.73 38.04 39.37 40.73 42.12 43.52 44.97 46.43 47.92 49.45 51 52.6 54.22 55.87 57.56 59.28 61.03 62.83 64.66 66.53 68.44 70.39 72.38 74.42 76.5 78.62 80.79 83.01 85.28 87.6 89.97 92.39 94.87 97.41 99.99 102.65 105.36 108.13 110.97 113.87 116.85 119.6 122.7 125.8 129.1 132.4 135.8 139.3 142.8 146.5 150.2 154.1 158 162 166.1 170.39 174.7];

%%%başlangıçta kabul edilen değerler

w0=0.03293;% 40C %70 deki nem

Th0=40;% hava giriş sıcaklığına eşit

eh0=123.9;% hava giriş entalpisine eşit

Ts0=5;% su giriş sıcaklığına eşit

Tb0=5;% su giriş sıcaklığına eşit

%%%%%%%%%

by0=byy(find(Ty==Th0));%%%%%%%%Th0 C başlangıç sıcaklığı için by değeri



```
w=zeros(32,3,30,tt)+w0;
```

```
%%denklemlerde kullanılan katsayılar%%
```

```
wsy=zeros(32,2,30)+wsy0;%T0sıcaklığında doymuş nem miktarı
```

```
esb=zeros(32,2,30)+esy0;%T0sıcaklığında doyma entalpisi
```

```
by=zeros(32,2,30)+by0;
```

```
how=zeros(32,2,30)+how0;
```

```
Rob=zeros(32,2,30)+Rob0;
```

```
Hh=zeros(32,2,30)+Hh0;
```

```
cp=zeros(32,2,30)+cp0;
```

```
Hw=zeros(32,2,30)+Hw0;
```

```
sure=input('toplam simulasyon zamanını sn cinsinden girin sure=');
```

```
ttt=round(sure/(dt*10)); % hesap zamanı adedi
```

```
ttt
```

```
pause(3)
```

```
for q=1:ttt % dış döngü
```

```
for t=1:10 % iç döngü
```

```
    sprintf('zaman=%d',q) %%zaman sayacı
```

```
    %%50 zaman adımında 1 katsayıları yenileyelim
```

```
    if mod(t,10)==0 && mod(q,5)==0
```

```
        for j=2:-1:1;
```

```
            for i=1:32;
```

```
                for k=1:30
```

```
%%katsayıları bir önceki zamana ait boru yüzeyindeki yoğuşmuş
```

```
% su sıcaklığına göre güncelliyoruz (esb,wsy,by,how,Rob,Hh,cpm) Tyy=Tb+0.17
```

```
    Tyy(i,j,k,t)=Tb(i,j,k,t)+0.17;
```

```
        if abs(round(Tyy(i,j,k,t))-Tyy(i,j,k,t))>0.25 &&  
        Tyy(i,j,k,t)>round(Tyy(i,j,k,t))
```

```
        %sıcaklık ile yuvarlanmış halleri farkı buçuklu değere yakınsa ve  
        sıcaklık buçuklu değerden %küçükse
```

```
            tempb=((round(Tyy(i,j,k,t))-3)/0.5)+2;
```

```
elseif abs(round( Tyy(i,j,k,t))- Tyy(i,j,k,t))>0.25 && (
Tyy(i,j,k,t)<round( Tyy(i,j,k,t))
```

%sıcaklık ile yuvarlanmış halleri farkı buçuklu değere yakınsa ve sıcaklık buçuklu değerden  
%büyükse

```
tempb=((round( Tyy(i,j,k,t))-3)/0.5);
```

```
else
```

```
tempb=((round( Tyy(i,j,k,t))-3)/0.5)+1; %ilk iki şartın
% gayrı(sıcaklık tam değere yakınsa)
```

```
%% aşağıdaki katsayılar bir sonraki 50 adım için kullanılacak
```

```
esb(i,j,k)=esy(tempb);
```

```
wsy(i,j,k)=wy(tempb);
```

```
by(i,j,k)=byy(tempb);
```

%bulunacak  
cp(i,j,k)=cpm(w(i,j+1,k,t));%%cp değeri giriş havası özelliklerinden

```
how(i,j,k)=((cp(i,j,k)/(by(i,j,k)*hos))+(dcy/ky))^-1;
```

```
Rob(i,j,k)=(how(i,j,k)*etatoplam*dAo)^-1;
```

```
Hh(i,j,k)=(Mhislak/dt)-(Gh/dx)-(1/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
```

```
Hw(i,j,k)=(Gh*dV/dx)+(etam*hos*dAo/cp(i,j,k));
```

```
end
```

```
end
```

```
end
```

```
end
```

```
end
```

```
%%su ve borularla başlıyoruz
```

```
Ts(32,3,1,t)=5; % soğuk suyun 1. devreye giriş sıcaklığı
```

```
k=1;
```

```
for i=32:-1:31
```

```
for j=2:-1:1
```

```
if mod(j,2)==0
```

```
for k=1:30
```

```
if k==1 && i==32
```

$$Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j+1,k,t))+(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));$$

$$Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));$$

```
elseif k==1 && i==31
```

$$Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j-1,k,t))+Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV));$$

$$Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));$$

```
else
```

$$Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k-1,t))+Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV));$$

$$Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));$$

```
end
```

```
end
```

```
else
```

$$Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j+1,k,t))+Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV));$$

$$Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));$$

```
for k=29:-1:1
```

$$Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV));$$

$$Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));$$

```
end
```

```
end
```

```
end
```

```

end
for i=30:-1:19
    if mod(i,2)==0
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        for k=2:30
            Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k-
            1,t))+Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
            Tb(i,j,k+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
                (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        end
    else
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        for k=29:-1:1
            Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+
                (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
            Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
                (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        end
    end
end
end
end
%%%%%%su için 1 kolon burda bitiyor
j=2;
Ts(30,3,1,t)=5;
for i=30:-1:19
    if mod(i,2)==0 %%%çift sıra nolu borular 30,28,26...

```

```

for k=1:30
    if k==1 && i==30 %%%kolona giriş sınır şartı
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j+1,k,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
    elseif k==1 %%%bir alt borulardan geliş sınır şartı
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
    else %%%sınır durumlar hariç boru boyunca değerler
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*
            Ts(i,j,k-1,t))+Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
    end
end
else %%%tek sıra nolu borular 29,27,25...
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
        (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV))); %%%bir ust sıraya başlangıç şartları
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
        (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));%
for k=29:-1:1
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+
        (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
        (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
end
end
end
end

```

```

j=1; %%%k=1 knın son değeri
for i=18:-1:17
    if mod(i,2)==0
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j+1,k,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
    for k=2:30
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*
            Ts(i,j,k-1,t))+Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
    end
else %%%i=17 için
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
        (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));%%k zaten 30 yazmaya hacet yok
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
        (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
    for k=29:-1:1
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
    end
end
end
end
%%k=1
for i=15:-2:13
    if mod(i,2)==1
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+2,j,k,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));%%boru 2 sır birden atlıyo

```

```

Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
for k=2:30
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*
    Ts(i,j,k-1,t)+(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
    (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
end
else %%yani i=14 satri
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+2,j,k,t))+
    (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
    (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
for k=29:-1:1
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+
    (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
    (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
end
end
end
%%su için 2. kolon da burada bitti
j=2;i=18;k=1;
Ts(18,3,1,t)=5;
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j+1,k,t))+
    (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));%giriş sınır şartı 5C
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
    (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
for k=2:30
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*
    Ts(i,j,k-1,t)+(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));

```

```

Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
end
i=17;
Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV));
Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
for k=29:-1:1
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+
(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV));
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
end
%k=1
for i=16:-1:14
    if mod(i,2)==0
        j=1;%çiftlerde 1. sütundayız
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j+1,k,t))+
(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        for k=2:30
            Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+((Gs*cs)/dz)*
Ts(i,j,k-1,t))+Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV));
            Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        end
    else
        j=2;
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+((Gs*cs)/dz)*

```

```

    Ts(i+1,j-1,k,t)+(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
    (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
for k=29:-1:1
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+
        (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
        (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
end
end
end
%%şimdi(14,1,30) dayız
for i=12:-1:2
    if mod(i,2)==0
        if i==12%%12. satırda başlangıç 2 satır aşağıdan alınacak
            Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+((Gs*cs)/dz)*Ts(i+2,j,k,t))+
                (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
            Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
                (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));;
        else
            Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
                (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
            Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
                (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        end
    end
    for k=29:-1:1
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
    end
end

```

```

else
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
        (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
        (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
    for k=2:30
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*
            Ts(i,j,k-1,t))+Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
    end
end
end
end
%%su için 3. kolon burada bitti
k=1;j=2;
Ts(16,3,1,t)=5;
for i=16:-2:14
    if i>15 %%mod yerine kullandık çünkü 2şer artıyo
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j+1,k,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        for k=2:30
            Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*
                Ts(i,j,k-1,t))+Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
            Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
                (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        end
    end
end
else
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+2,j,k,t))+
        (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));

```

```

Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
for k=29:-1:1
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Tb(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+
(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
end
end
end
%%şimdi(14,2,1)deyiz
for i=13:-1:1
    if mod(i,2)==1
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Tb(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));%%boru 2 sır birden atlıyo
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        for k=2:30
            Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Tb(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*
Ts(i,j,k-1,t))+Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
            Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        end
    else
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Tb(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
    end
end
for k=29:-1:1
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Tb(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+
(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));

```

```

Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
end
end
end
%(1,2,30)dayız
j=1;
Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Tb(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j+1,k,t))+
(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
for k=29:-1:1
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Tb(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+
(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
end
%% %%şimdi havayı hesaplasın
for j=2:-1:1
    for i=1:32;
        for k=1:30;
            eh(i,3,k,t)=123.9;%%hava giriş entalpisi(40 C ve %70) -sınır şartı-
            w(i,3,k,t)=0.03293; %%40 C ve %70 nemli hava mutlak nemi
            %
            w(i,j,k,t)=(1/Hw(i,j,k))*((Gh*dV/dx)*w(i,j+1,k,t)+(etam*hos*dAo*wsy(i,j,k)/cp(i,j,k)));
            eh(i,j,k,t+1)=(dt/Mhislak)*(Hh(i,j,k)*eh(i,j,k,t)+((Gh/dx)*eh(i,j+1,k,t))+
(esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        end
    end
end
end

```

end

end

zaman(q)=dt\*q\*t;

th(q)=mean(mean(eh(:,1, :,t)));

ts1(q)=Ts(1,1,1,t);

ts2(q)=Ts(2,1,1,t);

ts3(q)=Ts(13,1,1,t);

ts4(q)=Ts(19,1,1,t);

tso(q)=(ts1(q)+ts2(q)+ts3(q)+ts4(q))/4;

ww(q)=mean(mean(w(:,1, :,t))\*1000);

myogusma(q)=Qh\*rh\*(w0\*1000-ww(q)); %giriş-çıkış nem farkından yoğuşma

% kütesinin bulunması

for i=1:32

for j=1:2

for k=1:30

eh(i,j,k,1)=eh(i,j,k,t+1);

w(i,j,k,1)=w(i,j,k,t);

Ts(i,j,k,1)=Ts(i,j,k,t+1);

Tb(i,j,k,1)=Tb(i,j,k,t+1);

end

end

end

end

guc=Nz\*Nb\*Gh\*dy\*dz\*(eh(i,3,k,t)-th(q))

figure;

plot(zaman,th,'r',zaman,tso,'b--',zaman,ww,'m-',zaman, myogusma, ':')

legend('Hava çıkis entalpisi (kj/kg)', 'Soguk su çıkis sicakligi (C)', 'Hava çıkis özgül nemi (gr/kg)', 'Yogusan su kütesi (gr/s)');

xlabel('Zaman (Sn)'), ylabel('Sicaklik-Entalpi-Özgül nem-Yogusma kütesi');

**EK 3:****6 DEVRELİ BATARYA İÇİN SİMÜLASYON PROGRAMI**

```
clear,clc;
```

```
di=0.01585; %m
```

```
do=0.01665 ;%m boru dış çapı ya da kanat dip çapı
```

```
dia=0.02145;%m havanın çarpaz akıştaki borular arası mesafesi(transversal ve longitudinal değil)
```

```
Lx=0.132; %m havanın akış doğrultusunda
```

```
Ly=0.609;%m yükseklik
```

```
Lz=0.3; %m suyun akış doğrultusunda
```

```
Nc=6;% debi 6 ya ayrılıyor
```

```
Nr=3;% YAN yana 3 kolon var dolayısıyla 6 boru var
```

```
Nz=30;% tek boru boyunca kh sayısı Lz/dz in yuvarlanmış hali
```

```
Nb=32;% boyuna kh hacmi sayısı 16x2
```

```
nk=400; %number/m
```

```
Fp=1/nk; % (m) kanat hatvesi
```

```
Nk=nk*Lz;% tek borudaki kanat adedi
```

```
delta=0.0001; %m kanat kalınlığı
```

```
duk=0.04002; %m%%eşdeğer dairesel kanatın üst çapı
```

```
ck=0.902; %kJ/(kg K)
```

```
cb=0.380; %kJ/(kg K)
```

```
cs=4.191; %kJ/(kg K) 8 C ortalama soğuk su sıcaklığında
```

```
ch=1.042; %kJ/(kg K) 40C %80 ortalama hava giriş sıcaklığındaki
```

```
kb=400;% W/(m K) boru kısı
```

```
ky=0.6; %w/mk 20C de yoğunlaşmış suya ait k
```

```
ks=0.5635; %W/(m K)8 C ortalama soğuk su sıcaklığında
```

```
kh=0.02582; %(40+16)/2=28C %80 ortalama hava sıcaklığındaki
```

```
rk=2702; %kg/m3 kanatın yoğunluğu
```

rb=8933; %kg/m<sup>3</sup> boru yoğunluğu

rh=1.137; %kg/m<sup>3</sup> hava yoğunluğu (40+16)/2=28C %80 ortalama hava sıcaklığındaki %yoğunluk

rs=998; %kg/m<sup>3</sup> 8 C ortalama soğuk su sıcaklığında

Qh=0.4572; %(m<sup>3</sup>/s) toplam debi bu da 32x2=64 kh nk bölünecek

%%%% Farklı soğuk su debilerinin m<sup>3</sup>/s cinsinden ekrana yazdırılması %%%%

disp('1.42 m<sup>3</sup>/h = 0.000394 m<sup>3</sup>/s')

disp('2.85 m<sup>3</sup>/h = 0.00079167 m<sup>3</sup>/s')

disp('4.25 m<sup>3</sup>/h = 0.0011805 m<sup>3</sup>/s')

disp('5.70 m<sup>3</sup>/h = 0.0015833 m<sup>3</sup>/s')

disp('7.10 m<sup>3</sup>/h = 0.0019722 m<sup>3</sup>/s')

Qs=input('toplam soğuk su debisini m<sup>3</sup>/s cinsinden girin Qs='); % m<sup>3</sup>/s cinsinden girilecek %toplam debi

%%%%%

dcy=0.00013; %m kondens kalınlığı

nus=0.001385; %Pa.s 8 C ortalama soğuk su sıcaklığında soğuk su vizkozitesi

prs=10.3 % 8 C ortalama soğuk su sıcaklığında

% Reynoldsu=vsu\*di\*rs/nus;

dx=0.066; %(Lx/Nr)

dy=0.01905; %(=Ly/Nc)

dt=5.80e-005;

%%%%%

dz=0.01;%10mm kabul

Nz=30; %(=Lz/dz)

Ab=pi\*do\*(Lz-Nk\*delta); %(pi\*do(Lz - Nk\*delta))bir boru dış alanı

Ak=2\*Nk\*pi\*(duk^2-do^2)/4; %2Nepi(de2-do2)/4 bir borudaki kanatlar yüzey alanı

Ao=Ab+Ak; %(Ab + Ak)

dAo=Ao\*dz/Lz; %Ao dz/Lz.

dVb=pi\*(do^2-di^2)\*dz/4;% pi(do2-di2)dz/4



$$Ri=(1/(hi*Pi*dz))+(\log(do/di)/(2*pi*kb*dz));$$

$$vsu=ms/(rs*Ai);$$

%%%%%%%%

%%%%%%%%

Ty=[3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15 15.5  
16 16.5 17 17.5 18 18.5 19 19.5 20 20.5 21 21.5 22 22.5 23 23.5 24 24.5 25 25.5 26 26.5 27  
27.5 28 28.5 29 29.5 30 30.5 31 31.5 32 32.5 33 33.5 34 34.5 35 35.5 36 36.5 37 37.5 38 38.5  
39 39.5 40 40.5];

wy=[0.004706 0.004877 0.005053 0.005235 0.005423 0.005617 0.005817 0.006023  
0.006236 0.006455 0.006682 0.006915 0.007156 0.007404 0.00766 0.007924 0.008196  
0.008476 0.008765 0.009062 0.009369 0.009684 0.01 0.010345 0.01069 0.011045 0.011411  
0.011788 0.012176 0.012576 0.012987 0.01341 0.013846 0.014294 0.014755 0.01523  
0.015719 0.016221 0.016738 0.01727 0.017817 0.01838 0.018959 0.019554 0.020167  
0.020796 0.021444 0.022109 0.022794 0.023498 0.024222 0.024965 0.02573 0.026516  
0.027324 0.028155 0.029008 0.029886 0.030788 0.031715 0.032667 0.03349 0.0345 0.03552  
0.03658 0.03767 0.03878 0.03993 0.0411 0.04231 0.04356 0.04484 0.04615 0.0475 0.04888  
0.05031 0.05177];

byy=[1.86 1.9 1.94 1.96 2 2.02 2.04 2.1 2.12 2.16 2.18 2.24 2.26 2.32 2.34 2.4 2.42 2.48 2.52  
2.58 2.62 2.66 2.72 2.78 2.8 2.9 2.92 2.98 3.06 3.1 3.2 3.24 3.3 3.38 3.44 3.5 3.6 3.66 3.74  
3.82 3.9 3.98 4.08 4.16 4.24 4.34 4.44 4.54 4.64 4.74 4.84 4.96 5.08 5.16 5.32 5.42 5.54 5.68  
5.8 5.96 6.1 6.2 6.2 6.6 6.6 6.8 7 7.2 7.4 7.6 7.8 7.8 8 8.2 8.58 8.62];

esy=[14.81 15.74 16.69 17.66 18.64 19.64 20.65 21.67 22.72 23.78 24.86 25.95 27.07 28.2  
29.36 30.53 31.73 32.94 34.18 35.44 36.73 38.04 39.37 40.73 42.12 43.52 44.97 46.43 47.92  
49.45 51 52.6 54.22 55.87 57.56 59.28 61.03 62.83 64.66 66.53 68.44 70.39 72.38 74.42 76.5  
78.62 80.79 83.01 85.28 87.6 89.97 92.39 94.87 97.41 99.99 102.65 105.36 108.13 110.97  
113.87 116.85 119.6 122.7 125.8 129.1 132.4 135.8 139.3 142.8 146.5 150.2 154.1 158 162  
166.1 170.39 174.7];

%%%başlangışta kabul edilen değerler

w0=0.03293;% w0=0.0132; %24C %70 deki nem

Th0=40;% Th0=24;

eh0=123.9;% eh0=57.7;

Ts0=5;% Ts0=24;

Tb0=5;% Tb0=24;

by0=byy(find(Ty==Th0));%%%%%%%%Th0 C başlangış sıcaklığı için by değeri

wsy0=wy(find(Ty==Th0));%%%%%%%%Th0 C başlangış sıcaklığı için doymuş nem değeri

esy0=esy(find(Ty==Th0));%%%%%%%%Th0 C başlangış sıcaklığı için doyma entalpisi  
%değeri

$cp0=cpm(w0)$ ; %w0 nemdeki nemli hava cp değeri

$by0=byy(\text{find}(Ty==Th0))$ ; %%%Th0 C başlangıç sıcaklığı için by değeri

$wy0=wy(\text{find}(Ty==Th0))$ ; %%%Th0 C başlangıç sıcaklığı için doymuş nem değeri

$esy0=esy(\text{find}(Ty==Th0))$ ; %%%Th0 C başlangıç sıcaklığı için doyma entalpisi değeri

$cp0=cpm(w0)$ ; %w0 nemdeki nemli hava cp değeri

$how0=((cp0/(by0*hos))+(dcy/ky))^{-1}$  % ->by

$Ri=(1/(hi*Pi*dz))+(\log(do/di)/(2*pi*kb*dz))$ ;

$Rob0=(how0*etatomlam*dAo)^{-1}$

% katsayılar

$Hw0=(Gh*dV/dx)+(etam*hos*dAo/cp0)$

$Hh0=(Mhislak/dt)-(Gh/dx)-(1/(by0*Rob0*dV))$

$Hb=Mb/dt-1/(Ri*dV)$

$Hs=(Ms*cs)/dt-(Gs*cs)/dz-1/(Ri*dV)$

%%%

$\text{sprintf}('dt= %f',dt)$

$dt=(rh*by0*Rob0*dVhislak)/(1+rh*by0*Rob0*Qh/(Nz*Nb))$  %dt bundan küçük olmalı

$\text{disp}('dt < dtt \text{ küçük olmalı}')$

%%su için kararlılık

$dttsu=(Qs/6*rs*cs*dz*dt*Ri)/(rs*cs*dVs*Ri-dt)$  %dz bundan büyük olmalı

$\text{sprintf}('dz= %f',dz)$

$\text{disp}('dz > dttsu \text{ olmalı}')$

$\text{disp}('stabilite\text{ler } 0-1 \text{ arasında olmalı}')$

$\text{stabilitehava}=(Gh*dt)/(dx/Mhislak)+(1/(by0*Rob0*dV))*(dt/Mhislak)$  %bu değer 0-1 arasında olmalı %by\*Rob

$\text{stabiliteboru}=(1/(Ri*dV)+(1/(Rob0*dV))*dt/Mb$  %bu değer 0-1 arasında olmalı  
 $\text{erfboru}=(1/(Ri*dV)+1/(Rob*dV))*dt/Mb$

```

tt=10;
eh=zeros(32,4,30,tt)+eh0; %24C %70 nemdeki entalpi
Ts=zeros(32,4,30,tt)+Ts0;
Tb=zeros(32,3,30,tt)+Tb0;
w=zeros(32,4,30,tt)+w0;%

wsy=zeros(32,3,30)+0.01896;%24C de doymuş nem miktarı
esb=zeros(32,3,30)+72.3;%24C de doyma entalpisi
by=zeros(32,3,30)+by0;
how=zeros(32,3,30)+how0;
Rob=zeros(32,3,30)+Rob0;
Hh=zeros(32,3,30)+Hh0;
cp=zeros(32,3,30)+cp0;
Hw=zeros(32,3,30)+Hw0;

sure=input('toplam simulasyon zamanını sn cinsinden girin sure=');
ttt=round(sure/(dt*10));
for q=1:ttt
for t=1:tt
    sprintf('zaman=%d',q) %%zaman sayacı
    %%50 zaman adımında 1 katsayıları yenileyelim
    if mod(t,10)==0 && mod(q,5)==0
        for j=3:-1:1;
            for i=1:32;
                for k=1:30
                    %%katsayıları bir önceki zamana ait boru yüzeyindeki yoğuşmuş
                    % su sıcaklığına göre güncelliyoruz (esb,wsy,by,how,Rob,Hh,cpm) Tyy=Tb+0.17
                    Tyy(i,j,k,t)=Tb(i,j,k,t)+0.17;
                    if abs(round(Tyy(i,j,k,t))-Tyy(i,j,k,t))>0.25 && Tyy(i,j,k,t)>round(Tyy(i,j,k,t))
                        %sıcaklık ile yuvarlanmış halleri farkı buçuklu değere yakınsa ve sıcaklık buçuklu değerden
                        %küçükse

```



%%%%1. kolona giriş başlangıç şartı ve j=1 olduğunda j2

%%%%den geliş şartı

$$Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j+1,k,t))+$$

$$(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));$$

$$Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+$$

$$(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));$$

else %%%boru boyunca olacak hesaplamalar

$$Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*$$

$$Ts(i,j,k-1,t))+Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV));$$

$$Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+$$

$$(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));$$

end

end

else %%% j=2 için olan hesaplamalar

$$Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j+1,k,t))+$$

$$(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV))); %j^=3den geliş şartı$$

$$Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+$$

$$(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));$$

for k=29:-1:1 %boru boyunca hesaplamalar

$$Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+$$

$$(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));$$

$$Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+$$

$$(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));$$

end

end

end

for i=31:-1:19

if mod(i,2)==1

$$Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+$$

```

        (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
        (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
for k=29:-1:1
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+
        (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
        (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
end
else
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
        (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
        (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
for k=2:30
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*
        Ts(i,j,k-1,t))+Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
        (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
end
end
end
%%%su için 1 kolon burda bitiyor

Ts(31,4,1,t)=5;
i=31;
for j=3:-1:2
    if j==3 %sınır şartı
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j+1,k,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+

```

```

(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
for k=2:30
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*
        Ts(i,j,k-1,t)))+(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV));
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
        (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
end
else
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j+1,k,t))+
        (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
        (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
for k=29:-1:1
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+
        (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
        (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
end
end
end
end

for i=30:-1:19
    if mod(i,2)==0%i=30,28...için
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
    for k=2:30
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*
            Ts(i,j,k-1,t)))+(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+

```

```

        (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
    end
else %%i=29,27,25... için
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
        (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV))); %%k zaten 30 yazmaya hacet yok
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
        (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
    for k=29:-1:1
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
    end
end
end
end
j=1;
for i=18:-1:17
    if i==18
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j+1,k,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV))); %%bir aşağı ve bir sağdan giriş şartı
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        for k=2:30
            Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*
                Ts(i,j,k-1,t))+Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV));
            Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
                (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        end
    end
else
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
        (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV))); %%bir aşağı ve bir sağdan giriş şartı

```

```

Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
    (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
for k=29:-1:1
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Tb(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+
        (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
        (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
end
end
end
%ikinci devre de burada bitti
Ts(30,4,1,t)=5;
j=3;
for i=30:-1:19
    if mod(i,2)==0
        for k=1:30
            if k==1 && i==30%%%kolona giriş sınır şartı
                Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Tb(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j+1,k,t))+
                    (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
                Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
                    (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
            elseif k==1 %%%bir alt borulardan geliş sınır şartı
                Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Tb(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
                    (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
                Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
                    (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
            else %%%sınır durumlar hariç boru boyunca değerler
                Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Tb(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*
                    Ts(i,j,k-1,t))+((Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
                Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
                    (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
            end
        end
    end
end

```

```

end
end
else %%tek sıra nolu borular 29,27,25...
Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV))); %%bir ust sıraya başlangıç şartları
Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));%
for k=29:-1:1
Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+
(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
end
end
end
j=2;
for i=18:-1:17
if i==18
Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j+1,k,t))+
(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV))); %%bir aşağı ve bir sağdan giriş şartı
Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
for k=2:30
Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*
Ts(i,j,k-1,t))+Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
end
else
Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV))); %%bir aşağıdan giriş şartı

```

```

Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
    (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
for k=29:-1:1
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Tb(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+
        (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
        (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
end
end

end
j=1;
for i=16:-1:15
    if i==16
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Tb(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j+1,k,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));%bir aşağı ve bir sağdan giriş şartı
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        for k=2:30
            Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Tb(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*
                Ts(i,j,k-1,t))+((Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
            Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
                (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        end
    else
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Tb(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));%bir aşağı ve bir sağdan giriş şartı
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        for k=29:-1:1
            Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Tb(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+

```

```

        (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV));
Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
        (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
    end
end
end
    %3. devre burada bitiyor
j=3;
Ts(18,4,1,t)=5;
for i=18:-1:17
    if i==18
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j+1,k,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));%bir aşağı ve bir sağdan giriş şartı
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
    for k=2:30
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*
            Ts(i,j,k-1,t))+Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
    end
    else
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));%bir aşağı ve bir sağdan giriş şartı
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
    for k=29:-1:1
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
    end
end

```

```

end
end

end
j=2;
for i=16:-1:14
    if mod(i,2)==0
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j+1,k,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));%bir aşağı ve bir sağdan giriş şartı
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        for k=2:30
            Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*
                Ts(i,j,k-1,t))+Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV));
            Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
                (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        end
    end
    else
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        for k=29:-1:1
            Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+
                (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
            Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
                (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        end
    end
    j=1;%%1.kolona geiyoruz i=14 1.kolondan devam ediyor
end
end
end

```

```

%%
for i=13:-1:3
    if mod(i,2)==1
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        for k=29:-1:1
            Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+
                (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
            Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
                (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        end
    else
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        for k=2:30
            Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*
                Ts(i,j,k-1,t))+Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
            Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
                (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        end
    end
end
end
%%4.devre burada bitiyor
j=3;
Ts(16,4,1,t)=5;
for i=16:-1:13
    if mod(i,2)==0

```

```

for k=1:30
    if k==1 && i==16
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j+1,k,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
    elseif k==1
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j+1,k,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
    else
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*
            Ts(i,j,k-1,t))+Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
    end
end
else
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
        (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
        (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
    for k=29:-1:1
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
    end
    j=2;%i=15 den sonra ikinci kolona geçiyoruz
end
end

```

```

end
for i=12:-1:2
    if mod(i,2)==0
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        for k=2:30
            Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*
                Ts(i,j,k-1,t))+Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
            Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
                (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        end
    else
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
            (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
            (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        for k=29:-1:1
            Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+
                (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
            Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+(eh(i,j,k,t)-
                esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        end
    end
end
end
end
%5.devrenin son bir borusu kaldı
j=1;
Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j+1,k,t))+
    (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+

```

```

(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
for k=29:-1:1
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*T_s(i,j,k,t))+((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+
        (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV));
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
        (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
end
%%5.devre de burada bitti
j=3;
Ts(14,4,1,t)=5;
for i=14:-1:1
    if mod(i,2)==0
        for k=1:30
            if k==1 && i==14 %%%6.devreye giriş şartı
                Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*T_s(i,j,k,t))+((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j+1,k,t))+
                    (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV));
                Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
                    (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
            elseif k==1
                Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*T_s(i,j,k,t))+((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
                    (Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV));
                Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
                    (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
            else
                Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*T_s(i,j,k,t))+((Gs*cs)/dz)*
                    Ts(i,j,k-1,t))+Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV));
                Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
                    (eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
            end
        end
    end
end
else

```

```

Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i+1,j,k,t))+
(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
for k=29:-1:1
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+
(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
end
end
end
%%%en ust satirdayız
for j=2:-1:1
    if j==2
        Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j+1,k,t))+
(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
        Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        for k=2:1:30
            Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*
Ts(i,j,k-1,t))+Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
            Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
        end
    end
else
    Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Ts(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j+1,k,t))+
(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
    Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));
    for k=29:-1:1

```

```

Ts(i,j,k,t+1)=(dt/(Ms*cs))*((Hs*Tb(i,j,k,t))+(((Gs*cs)/dz)*Ts(i,j,k+1,t))+
(Tb(i,j,k,t)/(Ri*dV)));
Tb(i,j,k,t+1)=(dt/Mb)*(Hb*Tb(i,j,k,t)+Ts(i,j,k,t)/(Ri*dV)+
(eh(i,j,k,t)-esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));

end
end
end
%%soğuk su ve borular burada bitti şimdi havayı hesaplayalım

for j=3:-1:1
for i=1:32;
for k=1:30;
eh(i,4,k,t)=123.9;%%hava giriş entalpisi(40 C ve %70) -sınır şartı-
w(i,4,k,t)=0.03293; %40 C ve %70 nemli hava mutlak nemi

w(i,j,k,t)=(1/Hw(i,j,k))*((Gh*dV/dx)*w(i,j+1,k,t)+
(etam*hos*dAo*wsy(i,j,k)/cp(i,j,k)));
eh(i,j,k,t+1)=(dt/Mhislak)*(Hh(i,j,k)*eh(i,j,k,t)+((Gh/dx)*eh(i,j+1,k,t))+
(esb(i,j,k))/(by(i,j,k)*Rob(i,j,k)*dV));

end
end
end
end
zaman(q)=dt*q*t;
th(q)=mean(mean(eh(:,1, :,t)));
ts1(q)=Ts(1,1,1,t);
ts2(q)=Ts(2,1,1,t);
ts3(q)=Ts(3,1,1,t);
ts4(q)=Ts(15,1,1,t);
ts5(q)=Ts(17,1,1,t);

```

```

ts6(q)=Ts(19,1,1,t);

tso(q)=(ts1(q)+ts2(q)+ts3(q)+ts4(q)+ts5(q)+ts6(q))/6;

ww(q)=mean(mean(w(:,1,:t))*1000);
myogusma(q)=Qh*rh*(w0*1000-ww(q)); %giriş-çıkış nem farkından yoğuşma
                                     % kütesinin bulunması

for i=1:32
    for j=1:3
        for k=1:30
            eh(i,j,k,1)=eh(i,j,k,t);
            w(i,j,k,1)=w(i,j,k,t);
            Ts(i,j,k,1)=Ts(i,j,k,t);
            Tb(i,j,k,1)=Tb(i,j,k,t);
        end
    end
end

end

guc=Nz*Nb*Gh*dy*dz*(eh(i,4,k,t)-th(q))
figure;
plot(zaman,th,'r',zaman,tso,'b--',zaman,ww,'m-.',zaman, myogusma, ':')
legend('Hava çıkis entalpisi (kj/kg)','Soguk su çıkis sicakligi (C)','Hava çıkis özgül nemi
(gr/kg)','Yogusan su kütesi (gr/s)');

xlabel('Zaman (Sn)'),ylabel('Sicaklik-Entalpi-Özgül nem-Yogusma kütesi');

```

**EK 4****HESAPLAMALARDA KULLANILAN ALT PROGRAMLAR****1. Özgül Isı**

```
function wo=cpm(w)
```

```
cpkh=1.005;      %%kuru havanın ortalama cp si
```

```
cpsb=1.89;      %% su buharının ortalama cp si
```

```
wo=cpkh+cpsb*w;      %% w kadar nemli havanın cp si
```

**2. Kanat Verimi**

```
%%m,duk,do bilgilerine göre kanat verimi %%%%
```

```
function y=kanatverimi(m,duk,do,a,b)
```

```
m=(2*how0/(kk*delta))^0.5;
```

```
a=m*do/2;  %% do:kanat dip çapı
```

```
b=m*duk/2;  %% duk:kanat üst çapı
```

```
y=((4*do)/(m*(duk^2-do^2)))*((BESSELK(1,a)*BESSELI(1,b)-BESSELI(1,a)*  
BESSELK(1,b))/(BESSELK(1,b)*BESSELI(0,a)+BESSELI(1,b)*BESSELK(0,a)))
```

**3. Boru İçi Nusselt Sayısı**

```
%% türbülanslı boru içi akışı, sabit özellik varsayımıyla%%%
```

```
%%Nusselt sayısının bulunması
```

```
%%% ŞARTLAR: 3000<Re<5 000 000 %% 0.5< PR < 200
```

```
%%% nus: soğuk su vizkozitesi, prs: soğuk su prandtl sayısı, f: sürtünme katsayısı
```

```
function x=nusselti(di,nus,ms,prs,re,f);
```

```
re=4*ms/(pi*di*nus);
```

```
f=((0.79*log(re)-1.64)^-2)/8;
```

```
x=f*prs*(re-1000)/(1+12.7*((f^0.5)*((prs^(2/3))-1)));
```

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum :1982-İzmir

Lise :1996-2000 İzmir Menderes Lisesi

Lisans :2000-2005 YTÜ- Makine Mühendisliği

Yüksek Lisans :2005-2007 YTÜ F.B.E Makine Mühendisliği Isı-Proses Programı

Yüksek lisans süresince Okmeydanı Öğrenci Yurdu Belletici Öğretmen ve Müdürlüğü yaptı.